

# الفلزات تحت المجهر

تأليف: أ. كاوتسور

ارثربرنجر فيرلاج للنشر . برلين • هايدلبرج • نيويورك





# الفنارات تحت الجهر

مقدمة في علم التركيب الميتالوجرافي



# الفلزات تحت المجهر

مقدمة في علم التركيب الميتالوجرافي

تأليف

أ. كاوتسور

ترجمة

الدكتور عبد المجيد عامر

كلية الهندسة - جامعة الأزهر

مراجعة

الدكتور محمد الفيصل الرفاعي

كلية الهندسة - جامعة الأزهر

الهيئة العامة للكتاب - الإسكندرية	
رقم التصنيف	669.95
رقم التسجيل	٣٧٧٢٩

دار نشر جبر فيزيك للنشر . برلين . هايدلبرج . نيويورك



حقوق التأليف ١٩٦٨

©Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York

دار شبرلجر فيرلاج للنشر . برلين . هايدلبرج . نيويورك .

جميع الحقوق محفوظة .

Metall unter dem Mikroskop

E. Kauczor

الطبعة العربية ١٩٧٩ . تصدر بالتعاون مع مؤسسة  
الأهرام بالقاهرة .

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو اختزان مادته  
بطريقة الاسترجاع أو نقله على أى نحو أو بأى طريقة سواء  
كانت الإلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو بالتسجيل أو  
خلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقدماتاً .



ISBN 3-540-09283-8

Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York

## تقديم لسلسلة الكتب التخصصية الجديدة

تطورت طرق الإنتاج في العشرين عاماً الأخيرة بسرعة ومن نواح عديدة فطرق الإنتاج الحديثة أتاحت إنتاج مصنوعات قيمة بأثمان مناسبة جعلتها في متناول طبقات كثيرة من المشتريين .

ونتيجة لاستعمال الماكينات والأدوات والمعدات بأعداد كبيرة في نظام واسع للإنتاج ، مرّن في حدوده ، قابل للتطور والتغيير ، فإن « الورش » فقدت أهميتها التقليدية كراكز للإنتاج الصناعي ، ولذلك فإن المهرّين المهتمين بالموضوع ودار النشر التي عيّنت بإصدار سلسلة الكتب إلى كانت أساساً مخصصة للورش والعاملين فيها ، وجدوا أنفسهم مضطرين إلى مسابقة التطور الحالي .

وتقدم سلسلة الكتب التخصصية « الإنتاج والمصنع » مجموعة الكتب التي كانت تظهر حتى عام ١٩٧٣ تحت عنوان « كتب الورشة » في إطار جديد حديث .

والسلسلة الجديدة تركز اهتمامها على الاحتياجات اللازمة في الدراسة والحياة العملية ، والوصف فيها بسيط مختصر يمكن فهمه دون الحاجة إلى معلومات سابقة كثيرة ويركز على التطبيقات العملية ، وهي تحوي إرشادات للتمقّق في الدراسة وفي بعض الأجزاء تظهر في سلسلة « الإنتاج والمصنع » بعض الأبحاث المنشورة عن الأسس والنتائج العلمية والتجارب العملية في تخصصات طرق الإنتاج والتنظيم الصناعي وتكنيك الإنتاج والتحكم والتنظيم والعدد والمواد والقياسات والاختبارات .

## حول هذا الجزء

كتاب « الفلزات تحت (الميكروسكوب) المجهري » هو مقلعة ممتازة في علم التركيب الداخلي للفلزات وميزة هذا الكتاب هي سهولة عرضه للموضوع فالتغيرات المقلعة في التركيب على سبيل المثال أثناء المعالجة الحرارية أو التصلد على البارد ، والعلاقات بين التغيرات في التركيب والتغيرات في الخواص تتضح للقارئ بسهولة وهو يناسب كلاً من المهتمين أو الفني كرجع في الحياة العملية والطلاب في المعاهد الفنية العالية أو المعاهد الفنية كقلعة .

هانسبورج يناير ١٩٧٤

هـ . ديتزمان

ف . مليرج



## الفهرس

صفحة

مقدمة

١٥

أولاً : الفلزات النقية

- ١ - أصفر مكونات الفلزات ..... ١٥
- ٢ - تجمد فلز متصهر ..... ١١
- ٣ - محتويات التبريد ..... ١٣
- ٤ - مجهر الفلزات ..... ١٤
- ٥ - الصهار فلز متجمد ..... ١٧
- ٦ - محتويات التسخين ..... ١٨
- ٧ - عملية التبلور ..... ١٨
- ٨ - حجم الحبيبات وقوة الفلز ..... ١٩
- ٩ - النظم البلورية للفلزات ..... ٢١
- ١٠ - تحولات الحديد النقي ..... ٢٣
- ١١ - تغيرات البناء الداخلي للفلزات بتأثير قوى خارجية ..... ٢٥
- ١٢ - إعادة التبلور ونمو الحبيبات ..... ٣٥

ثانياً : السبائك

- ١ - كلمة عامة ..... ٣٣
- ٢ - عدم اللبوان التام في كل من الحالة الصلبة والسائلة ..... ٣٣
- ٣ - السبائك الأوستيكتيكية ..... ٣٤
- ٤ - المركبات البينية ..... ٣٨
- ٥ - التفاعلات البيركتيكتيكية ..... ٤١
- ٦ - السبائك وتكون المحاليل الصلبة ..... ٤٣
- ٧ - سبائك تكون محاليل صلبة بنسبة محدودة ..... ٤٦
- ٨ - سبائك يمكن تقسيمها ..... ٤٩

٥١	٩ - التحولات في الحالة الصلبة ... ..
٥١	١٠ - تحولات الصلب في الحالة الصلبة عند التبريد البطيء
٥٦	١١ - تأثير سرعة التبريد على التحولات في الصلب
٦١	١٢ - البايثيت في الصلب
٦٥	١٣ - سبيكة الحديد - كربيد الحديد
٦٧	١٤ - سبيكة الحديد - الجرافيت
٧١	١٥ - منحى اتزان سبيكة الحديد مع الكربون
٧٢	١٦ - تحول المحلول الصلب دلتا $\delta$

#### ٧٤ ثالثاً : طرق التحضير المتالوجرافية

٧٤	١ - تجهيز المينة
٧٦	٢ - التخليق والتلميع والنفش
٧٩	٣ - أمثلة لطرق النفش
٨٢	٤ - التلميع والنفش الاليكتروني
٨٦	فهرس

## مقدمة

الميتالوجرافى هى الجزء من علم الفلزات الخاص بفحصها بالعين أو مع التكبير البسيط وفحص التركيب الداخلى للفلزات تحت المهر (الميكروسكوب) ، ولا يمكن تحليل تطور المواد المعدنية وضبط إنتاجها وتصنيعها دون الميتالوجرافى . ومن يلم التفورات المتعددة فى التركيب الداخلى للفلزات نتيجة إضافة عناصر أخرى أو التشكيل الميكانيكى أو المعالجة الحرارية أو الصدا هو وحده القادر على أن يعرف عن طريق التركيب الداخلى تاريخ حياة قطعة من الفلز ، وعند إنبائها يستطيع أن يثبت إن كان الخطأ ناجماً من تصنيعها أو تشكيلها أو أثناء استعمالها .

والفرض من هذا الكتاب هو مساعدة المبتدئ فى تحظى بالصعوبات عند ملاحظة والحكم على منحنيات إتران السبائك وصور التركيب الداخلى لها ، وأن نمهد له الطريق لنرى من المعرفة المشوقة المتعددة الجوانب فى الحياة العملية . ولما كان هذا الكتاب يعتبر مدخلاً لهذا العلم فقد روعي فيه أن يكون فى صورة مبسطة سهلة .

ونتناول هذا الكتاب بعض الأسس التى لا يمكن التعرف على أصل بعضها بشكل مؤكد . وفى الأحيان التى تتأكد فيها معرفة مصدر هذه الأسس فستذكر المصادر فى نص الكتاب أو كملحوظة أسفل الصفحات .

ومعظم الصور والأشكال فى هذا الكتاب أُخذت من قسم الميتالوجرافى فى مركز اختبار المواد المحكومى التابع للمدرسة التخصصية العليا بهامبورج (١) وأما الصور الأخرى فيشكر على تقديمها السادة الدكتور ه . كلينبجله (شكل ١٣) ، الدكتور ف . ف . نوتينج (شكل ٦٠ ، ٦١) ، الدكتور ج . بتزوف (شكل ٥٠ ، ٥٦) ، الدكتور ف . بنتش (شكل ١٢) ومركز صناعة الألومنيوم فى دسلدورف (شكل ٣٥) ، كذلك شركة بوهلر المحدودة فى إيفانستون III (شكل ١٠٧) ، شركة ارنست فتر وولده فى هامبورج (شكل ١١٢ ، ١١٣) ، شركة جين فرتسى فى دسلدورف ، (شكل ١١١) وشركة كارل زايس فى أوبركوخن (شكل ٤٧ ، ٨٩ ، ٩٠) .

ويقدم المؤلف شكره لسادة الأساتذة بالمدرسة التخصصية العليا بهامبورج والسيد الدكتور

(1) Staatlichen Materialprüfungsamtes an der Fachhochschule Hamburg.

ج. يثؤف من مهفء ماكس بلانك لأبحاث المعافف فف شفر بشارف وكذلك جمفع الفاملاف والفاملفن  
عركو افءفار الفواف الفكوف فامهورف لفصافهم الففة الفف أفف لفف فءفن هفا الففاب .

## أولاً : الفلزاف الفقففة

### ١ - أصفر مكوفاف الفلزاف

الفلزاف عنافر كفاوفة ففكوف كففرها من العنافر من ذراف ففءفءف سلوك وفواف الفلزاف  
من طرفف صفاف ذرافها والقوى الفف فعمل بفن هفه الذراف .

ففكوف كل ذرة من نواة عفاطة ففب الفصفواف العلمفة الففءفة ففصافه ففءافعة من  
الإلكفروناف . وفء فكون هفه السفاف الففطة بالنواة كروفه وأففافاً أفرى ففءف فف افبافاف عطفة  
وفكاف فكون كل وزن الذرة مركزاً فف نواة الذرة الفف فشفل جزعاً صفراف من ففم الذرة ولففوضفح  
ذلك فأن النواة فشفل بالنسبة للذرة فف ففموفها ما فشفله رأس ذبوس فف فرقة .

والإلكفروناف عفاة من جزفناف فقففة ففءاً مشفونة فشفنة كهرفة سافبة وففمفها فعاذل  
قهرفاف نواة الذرة بففا فعاذل وزنها 1/1836 من وزن أفف نواة ذرة من الذراف .

ففكوف نواة الذرة الففاففة فف الصفر من البروفوناف ، والبروفوناف جزفناف مشفونة فشفنة  
كهرففة موفبة ، وفل ذلك فأن الذرة ففمفها ففءافلة بالنسبة لما فوفها ، والففوفوناف جزفناف ففءافلة  
ففر مشفونة فشفنة كهرفة . وفءفد الففوفوناف هو الفف ففءف المنصر ، وأففف المنافر هو  
الففلروففن وففوف بروفونا واففأً والكفرونا واففأً ، وأففلها فف الفففة هو الففورانفوم وففوف 92  
بروفونا و 146 نفوفرونا و 92 الكفرونا .

وففراوف قفسر الذرة ففب فففة المنصر بفن 2 إلى 5 Å ( وفءة الأفففسفروم  
1/100000000 cm =  $10^{-8}$  cm ) وإذا صففنا أرففن ملفون ذرة ففوسفة الففم ففوار  
ففسها ففسفففنا صفاف طولف سفففمفراً واففأً .

وفف نفهم المافة الفف ففناولها هنا ففكف أن فففل أن الذراف عفاة من كرفاف مرنة فلفففق  
وففراق مارة بففسها ، وففكف عن طرفف قوى افارفة ففففلها مع بففسها فففافاً مرناً(١) :

---

1- Mott, N.F. :Atomic Structure and the Strength of Metals, Braunschweig:Vieweg  
1961.

## ٢ - محمد فوز منصور

إذا تخيلنا أنه يمكننا ملاحظة ذرات فلز منصهر يبرد تدريجياً ، فإذا سيجرى أمام أعيننا .

مازال كل شيء سائلا وللذرات حرية حركة كبيرة ، وتحرك بسرعة هنا وهناك ، وطاقة حركة الذرات مصدرها الحرارة التي تستخدم للاحتفاظ بالفلز سائلا .

لذا أبطلنا مصدر الطاقة التي تعطي الحرارة للفلز المنصهر فإن الفلز المنصهر سيفقد الحرارة إلى المنطقة المحيطة به الأبرد منه فتتخفض درجة حرارته بالتدريج ، وعليه فإن طاقة حركة الذرات تقل هي الأخرى بالتدريج .

وفي فلز منصهر يتبلور في مكعبات ( الحديد على سبيل المثال ) سترتب الذرات الموجودة في أماكن مناسبة لبعضها إلى مكعبات صغيرة وعلى هذه المراكز ( أجنة ) سترتب الذرات السائبة في الفلز المنصهر نفسها في مكعبات صغيرة أخرى وعندما ترتب ذرة نفسها في مكعب صغير فلأنها تفقد كمية الحرارة التي لزمت لاتصهارها من قبل بالضبط والتي كانت مطلوبة لخلع الذرة عن مسارها ( حرارة التجمد ) . وتتكرر نفس العملية في أماكن أخرى من الفلز المنصهر فكل البلورات الصغيرة ، كما تسمى هذه المكعبات من الآن فصاعداً ، تبنى الذرات مكعباً بعد الآخر وتفقد الحرارة . ( الشكل رقم ١ ) ( ١ ) . وستظل درجة الحرارة التي انفصلت أو تجمعت عندها أول بلورة ثابتة ، وذلك بسبب كمية الحرارة التي تفقد أثناء بناء الذرات لهذه البلورات على الرغم من أننا لا نستنسخ الفلز المنصهر وأنه يفقد بعض الحرارة إلى المنطقة المحيطة به . فكمية الحرارة التي تعطيها الذرات أثناء تكوين البلورات تغطي كمية الحرارة المفقودة وكمية الحرارة اللازمة للاحتفاظ بالمعدن عند درجة الحرارة المذكورة .

ولا تنمو البلورات بانتظام في جميع الجهات فلأنها تفضل الاتجاهات معينة مريطة بينها واتجاه التبريد ( فقد الحرارة ) وينشأ عن ذلك أولاً أشكال تشبه شجرة الصنوبر تسمى « دندريت » ( ٢ ) ثم تملأ الفراغات بين أفرع الدندريت وتكبر البلورات بانتظام حتى تصطدم ببعضها فيتصل بعضها عن مواصلة النمو ، والمساحات المربعة لأسطح البلورات المكونة ستفقد انتظامها وترتيبها تبعاً لذلك ، ونصل بعد ذلك إلى أقل حالة طاقة ممكنة ، وهي طاقة الحالة الصلبة ، وتنخفض بعد ذلك درجة الحرارة حتى تصل درجة حرارة الفلز المتجمد إلى درجة حرارة الجو المحيط به .

ولما كانت قوالب الفلز المصبوبة تنكش أثناء تبريدها فيحدث أحياناً أن يهبط باقي الفلز المنصهر في وسط القالب المصبوب قبل أن تملأ الفراغات بين أفرع الدندريت في الامتلاء بالبلورات المتجمدة

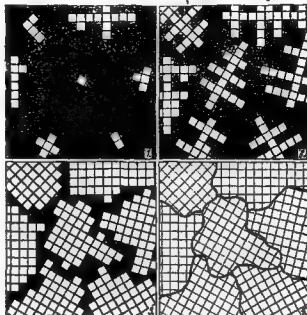
( ١ ) هذا الشكل رسم بالتراح وتصور من السيد ف . دونزهاين .

( ٢ ) مصدرها اللغة اليونانية حيث دندرون تعني فجرة .

وعندئذ ينشأ فراغ وسط القالب المصبوب تظهر فيه أفرع الدندريت كأشجار الصنوبر الصنوبرية (شكل رقم ٢).



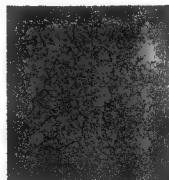
1 : 1



شكل رقم (١) تجدد فاز مصبر : حول نواة التبلور  
لنشأ البلورات الأولى (١) التي تنمو بالتفريع (٢) ،  
(٢) حتى تتلاصق وتزاحم بعضها ويخرج عن ذلك مساحات  
غير منتظمة الحدود (٤) .  
شكل رقم (٢) ظهور أفرع  
الدندريت داخل الفراغ وسط قالب  
الحديد المصبوب نتيجة هبوط باقي  
الفاز المصبر .

وعند فحص الفلزات تحت المجهز الضوئي تظهر خطوط الحدود غير المنتظمة التي نشأت عند  
آخر مراحل التجمد وتسمى حدود الحبيبات ، والبناء الذي لهذه البلورات يمكن تمييزه بالفحص  
الدقيق بواسطة أشعة إكس أو بأشعة الإلكترونات أو النيوترونات .

وتتميز البلورات التي لا تنمو بانتظام نتيجة مزاحمتها لبعضها  
أو نتيجة عوامل خارجية عن البلورات المثالية بتصلب كلمة  
كريستاليت أحياناً للتعبير عن البلورات الحقيقية التي لا يبدو  
أن لها شكلاً منتظماً ، وعموماً تتصلب كلمة حبيبات في الحياة  
العملية للتعبير عن الكريستاليت (أي الحبيبات) والتي يشار إليها  
عموماً بالتركيب الداخلي . وعلى سبيل المثال يظهر في شكل (٣)  
التركيب الداخلي للحديد والخطوط الداكنة المحيطة بالحبيبات هي  
حدود الحبيبات التي تظهر في الجزء الرابع من شكل (١) كحدود  
غير منتظمة .

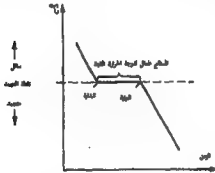


200 : 1

شكل رقم (٣) التركيب الداخلي  
الحديد النقي .

### ٣ - منحنيات التبريد

إذا أعيدت عملية التبريد السابق وصفها كتجربة عملية ، فوضع مقياس حرارة داخل الفلز المنصهر وقراءة درجات حرارته على فترات قصيرة منتظمة أثناء تبريده ، وتوقيع نقاط القراءات المزدوجة للزمن ودرجة الحرارة على شكل بياني ، فعند توصيل هذه النقاط ببعضها ينشأ ما يسمى في هذه الحالة بمنحنى التبريد للفلز المفحوص (شكل ٤)



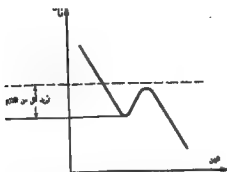
وبين الجزء المائل من المنحنى أولاً أن الفلز المنصهر يبرد بانتظام وعندما تتكون البلورات الأولى وتفقد ذراتها حرارة التجمد إلى ما حولها تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع ، وتتشع البوتقة المحتوية على الفلز المنصهر كميات أخرى من الحرارة إلى ما حولها ، وتعاكس حرارة التجمد كمية الحرارة التي تفقد ، وعليه فستظل درجة الحرارة ثابتة

حتى يتجمد باقي الفلز المنصهر ، ولذلك يظهر في المنحنى عند درجة حرارة التجمد نقاط توقف مكونة الخط الأفقي المائل للدرجة حرارة التجمد ، وبعد نهاية التجمد تنخفض درجة الحرارة (وكذلك المنحنى) بنسبة الحرارة التي تفقد من الفلز الساخن المتجمد .

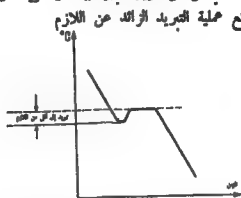
وحدث أحياناً عند تجمد بعض الفلزات النقية ، وخاصة في حمامات الصهر لكميات صغيرة سريعة التبريد ، وفي حالة عدم وجود اهتزازات (الاهتزازات تساعد على تكون نواة البلور) ، يحدث ألا تستطيع الذرات أن تكون نويات تبلور في الوقت المناسب فتتخفف درجة الحرارة إلى أقل من درجة حرارة التجمد حتى يحدث فجأة أن تبدأ عملية التبلور ، على سبيل المثال نتيجة حزة صغيرة ، وتستمر عملية التبلور بسرعة حتى تمضي الزمن الضائع وتفقد الذرات ، التي ترتب نفسها في بلورات ، كمية كبيرة من الحرارة لدرجة أن درجة الحرارة التي انخفضت عن درجة حرارة التجمد ترتفع ثانية حتى درجة حرارة التجمد ، وتستمر باقي عملية التجمد كما في شكل (٤) وتظهر على منحنى التبريد ، حيث انخفضت درجة الحرارة عن درجة حرارة التجمد ، حنية مبنية لعملية التبريد إلى أقل من اللازم عند البدء في التجمد شكل (٥) .

وحدث أحياناً عند تبريد كميات صغيرة جداً من الفلزات المنصهرة أن تفقد حرارتها بسرعة للدرجة أن عملية التبلور التي تبدأ متأخرة لا تستطيع اللحاق بعملية فقد الحرارة ولا تصل درجة الحرارة ثانية إلى درجة حرارة التجمد الحقيقية للفلز والمنحنى الناتج في مثل هذه الحالات ، شكل (٦) ، غير صالح لتحديد درجة حرارة التجمد .

ويمكن عن طريق التبريد ببطء أو تحريك أو هز القلزم المنصهر أو إضافة نويات تجمد (تلقيم) له، منع عملية التبريد التلقائي عن اللازم



شكل (٦) منحنى تبريد فيه تبريد شديد إلى أقل من اللازم ولم تعد درجة الحرارة إلى درجة حرارة التجمد .



شكل (٥) منحنى تبريد يوضح تبريداً إلى أقل من اللازم بدرجة خطية . وارتفاع درجة الحرارة ثانية إلى درجة حرارة التجمد .

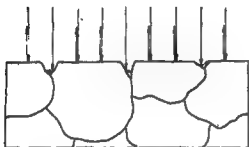
#### ٤ - مجهر القلزمات

قبل محاولة التغلغل في التركيب الداخلي للقلزمات يستحسن وصف معمل الميتالوجرافى من خلال زيارة قصيرة ودراسة كيفية إعداد هيئة من القلزم حتى يمكن عمل صور لتركيبها الداخلى .  
ويبدأ إعداد العينة بقطع قطعة من القلزم صغيرة بحيث يمكن إمساكها باليد ، ثم يخلع باليد باستعمال ورق صنفرة أنعم فأنعم ثم تلميعها بالألومينا أو باستخدام الطرق الإلكترونية حتى تظهر فيها مساحة ناعمة لامعة كالمرآة ويسمى الميتالوجراف العينة المجهزة بهذه الطريقة هيئة ميتالوجرافية ، ويمكن إظهار التركيب الداخلى باستخدام محاليل الفخس التى يختار منها الأكثر صلاحية لنوع العينة المستعملة .  
ولما كانت العينات المعدنية عموماً غير شفافة فلا يمكن للميتالوجراف مثل الأطباء أو علماء الأحياء أن يستعمل الضوء المار من خلال العينة ، ولذلك فالظاهر المستعملة في الميتالوجرافى تستخدم الضوء الساقط على العينة ومصممة بحيث يسقط الضوء رأسياً على العينة أولاً ثم يلاحظ التركيب الداخلى عن طريق الضوء المنعكس من العينة .

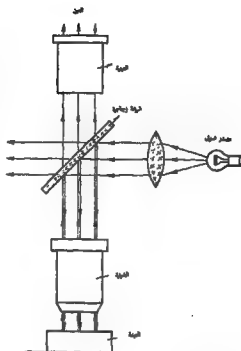
ويظهر في الشكل رقم (٧) تركيب مجهر القلزمات بتبسيط شديد حيث يمر الضوء للنهث من مصدر ضوئى خلال عدسة ويوجه على شريحة زجاجية تميل على الضوء الساقط بزاوية  $45^\circ$  وينفذ جزء من الضوء خلال الشريحة الزجاجية ، بينما يوجه الباقي رأسياً إلى أسفل ويسقط من خلال عدسة شبيثة على السطح اللامع للعينة ويمكس سطح العينة الناعم اللامع الضوء خلال العدسة الشبيثة وشرحة الزجاج إلى العدسة العينية التى تستخدم في رؤية العينة . والصورة المكبرة عن طريق العدسة الشبيثة لسطح العينة ستكبر مرة أخرى عن طريق العدسة العينية . وباستخدام عدد يمكن تغييره من العدسات الشبيثة والعينية يمكن أن يصل التكبير في مجهر القلزمات ما بين 2000 — 10 مرة .



كيف تنشأ إذن صورة التركيب الداخلى فى الضوء المنعكس ؟ العينة غير المنمشة تعكس الضوء بانتظام ، وستلاحظ أن ما تراه العين سينرجى إذا ما أدخلنا العينة تحت العنسة الشبكية . والشوايب التى تحويها أية عينة عادية ، كذلك بعض أجزاء التركيب الداخلى مثل الجرايت فى الحديد الزهر لها

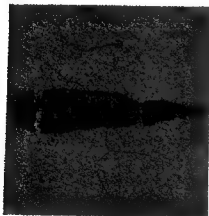


شكل ( ٨ ) انعكاس الأعمدة الضوئية على عينة منمطة حدود الجبهيات .



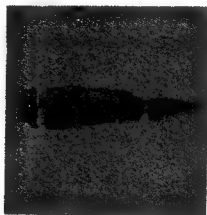
شكل ( ٧ ) رسم مبسط لمسار الضوء فى مجهر الفلزات .

قدرة أقل على عكس الضوء عن التآز نفسه ، ولذلك سنعكس أثناء وجودها تحت الشبكية كمية أقل من الضوء عن باقى أجزاء سطح العينة ، ولذلك يمكن رؤيتها حتى قبل تمشها ويمكن تمييزها فى العينة غير المنمشة من باقى الأجزاء الأخرى التى تظهر أفتح بكثير ، أى يمكن حتى أن تكون الأجزاء المعنية أوضح فى العينة غير المنمشة عن العينة المنمشة شكل ( ٩ ) وتغطس العينة بعد تلميعها من الوجه الملمع



400 : 1

شكل ( ١٠ ) نفس العينة بعد تلميعها بمحلول 2% حامض تريك كبريت ولا ظهرت حدود الجبهيات .



400 : 1

شكل ( ٩ ) شوايب (حيث) فى عينة حديد غير منمطة .

في محلول الفئش وبالنسبة لعينات الحديد في الأشكال (٣) ، (١٠) تستعمل محلول ٢٠٪ حامض نيتريك كحلولي . وبعض مواد الفئش والتي تسمى محاليل نمش حدود الحبيبات تتفاعل بشدة حيث يكون هناك خلل في انتظام التركيب ، وهذا موجود دائماً حيث زاحمت البلورات بعضها أثناء التجمد ، ولذلك فإنه عند حدود الحبيبات سينشأ ما يمكن أن نبالغ في وصفه فنقول « قنوات » نتيجة التفاعل مع محلول الفئش شكل (٨) . وهذه العملية ستزيد عند وجود شوائب دقيقة والتي تتجمع عادة على حدود الحبيبات. والأشعة الضوئية التي تسقط في هذه القنوات لن تنعكس بعد ذلك رأسياً بل ستعثر باتجاهها، ولذلك فإن المشاهد سيري حدود الحبيبات خلال العينة غامقة ويصبح التركيب الداخلي مرئياً شكل (١٠) .

وهناك بجانب محاليل نمش حدود الحبيبات محاليل أخرى نمش أسطح الحبيبات وأخرى تتفاعل مع بعض أجزاء التركيب الداخلي أو تلونه .  
ولتكبير أكثر من 2000 مرة فإن الأشعة الضوئية غير مناسبة ، ولذلك تستعمل الإلكترونات ، التي تشع بسرعة من سلك تتجسّن مسخن كهربياً ( كاثود أو مهبط ) وترسل بسرعة تحت تأثير جهد حال عبر أنود ( مصعد ) على شكل فتحة ضيقة ومشحون بشحنة موجبة .  
ويمكن تغيير اتجاه الإلكترونات خلال مجال كهربائي أو مغناطيسي ، ولذلك فيمكن جمع أو تفريق الأشعة الإلكترونية بواسطة المكثفات والملفات (عناصر الكترونية) تماماً كما تفعل العنصرات الزجاجية بالأشعة الضوئية في المهر الضوئي .



1200 : 1



20000 : 1



15000 : 1

شكل (١٣) صورة لكسر في صلب عادي لليل الكربون مأخوذة باستعمال المهر الإلكتروني .

شكل (١٢) جزئيات من التريبات في الحديد . صورة مأخوذة بالأشعة الإلكترونية .

شكل (١١) صورة مأخوذة بالأشعة الإلكترونية لعينة محضرة بترسيب بخار الكربون والبلاتين وتظهر فيها كريات نفوسية عالية من الكروم على حدود الحبيبات لصلب كروم - نيكل أو ستنتي .

الأشكال (١١ - ١٣) صورة مأخوذة باستعمال المهر الإلكتروني .

ولفحص العينات بالمجهر الإلكتروني بطريق اختراق الأشعة للينة (الأشكال من ١١ إلى ١٣) .  
 للجهاز «شعبة» (صورة) رقيقة جداً ممثلة تماماً لسطح اللينة اللامع بتكثيف طبقة رقيقة من بخار الفحم  
 فوقها أو من دهان سريع الجفاف . وحتى يزداد التباين على هذه الصيغة (الصورة) أو الشرعية المكونة  
 من بخار الفحم المكثف أو الدهان السريع الجفاف يرسب عليها في جو غامض طبقة رقيقة من بخار فلز  
 قليل كالبلاتين أو الكروم . ولكثير من القموص فإن هذه الشرائح التي تحترقها الأشعة مناسبة تماماً  
 إذا صنعت من قطع رقيقة من الفلز ثم شطبته برفيقها عن طريق الترسيب الكهربائي أو بالطرق  
 الكيماوية (١) .

ومجهر الإنبيات الإلكتروني يتيح ملاحظة سطح اللينة مباشرة ، حيث يمكن من طريق التسخين  
 أو قذف أيونات على سطح اللينة اللامع مما يجعل السطح يعكس الكثرات يمكن زيادة سرعتها باستعمال  
 ضغط عال وانقائها من خلال علامات الكترونية على الشاشة .

وهناك تطور خاص للمجهر السابق هو ميكروسكوب راسر الإلكتروني حيث يسقط على سطح  
 اللينة الكثرات أولية على شكل سطوح، وتشكل الإلكترونيات الثانوية المشعة من اللينة والإلكترونات  
 الأولية الموجهة في الاتجاه العكسي من اللينة ، عن طريق مرورها عبر بلورة الستيلاسيون ومكبر  
 الصورة ولية اشعاع المهبط ، صورة على الشاشة وهذا الجهاز مناسب لفحص الكسور في الفلزات  
 نظراً لقدرته على اظهار التباين في العمق (شكل ١٣) .

وباستعمال أجهزة إضافية للمجهر الإلكتروني يمكن اسقاط شعاع الكتروني دقيق على أجزاء  
 التركيب الداخلي للينة. والتحليل الطيفي يعطى بيانات عن التركيب الكيماوي لأجزاء التركيب الداخلي .  
 وفي المصانع تستعمل الماهر الضوئية غالباً وتستخدم الماهر الإلكترونية لفحص الظواهر المعقدة  
 في التركيب الداخلي مثل الترسبات أو العيوب في الهيكل البلوري التي كثيراً ما تكون من النقط بحيث  
 لا يمكن للمجهر الضوئي رؤيتها .

### ٥ - الصهار فلز متجمد

الذرات المرتبة في بلورات الفلزات المتجمدة لا تظل ثابتة في مكانها عند درجة حرارة الجو بل  
 هي في حالة خيذة مستمرة يتوقف مداها على درجة الحرارة أما ثبات الذرات فيكون عند درجة  
 حرارة الصفر المطلق ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) .

وعندما تسخن الفلز تزداد طاقة حركة ذراته وتتطلب بشدة ، والذرات المتطلبية تحتاج إلى حيز  
 أكبر لحركتها مما يملأها عن بعضها وهذا هو سبب تمدد المواد عند تسخينها ؛

---

1. Guy, A.G. : Petzow, G. : Metallkunde für Ingenieure, Frankfurt/Main:  
 Akademische Verlagsgesellschaft 1970

وحيث أن البلورات أثناء تكوينها عند تجمد القلز المنصهر تتراحم بعضها مما يجعل تكوينها غير منتظم ، فإن اللرات عند حدود الحبيبات تكون في وضع اضطرابي ومحاول الإفلات منه ، وذلك فعند التسخين تكون اللرات عند حدود الحبيبات أكثر استعداداً لترك مكانها عن اللرات الموجودة داخل الحبيبات . وعند الوصول إلى درجة حرارة الانصهار فإن اللرات عند حدود الحبيبات تحمل نفسها من التماسك قبل غيرها ثم تتبعها باقي الحبيبات بزيادة الحرارة ويكون للقلز عندئذ حجم معين ولكن فقد شكله أى انصهر .

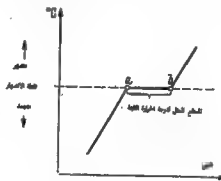
وإذا استمر التسخين أى مد القلز المنصهر بطاقة حرارية إضافية فإن التماسك بين اللرات سيتلاشى نهائياً ، أى سيدأ القلز في التبخر ، وتتطاير اللرات حرة في الفراغ حيث تتحرك مستقلة عن بعضها ويصل القلز إلى أعلى درجات طاقته ويمكته ملء أى فراغ فقد أصبح بخاراً .

## ٦ — منحنيات التسخين

إذا سخن قلز وبعثت درجات الحرارة عند فترات زمنية منتظمة فسيحدث ما يشابه ما حدث عند تجمد القلز المنصهر فكل الرغم من كمية الحرارة المضافة فإن درجة الحرارة ستظل ثابتة عند درجة حرارة الانصهار حتى تلوب آخر بلورة موجودة وتستخدم الطاقة الحرارية كلها في إذابة البلورات (تغير الحالة) ، ومنحنى التسخين (شكل ١٤) هو صورة لمنحنى التبريد لنفس القلز .

والظواهر التى تصاحب التبريد الترادد عن السطح أثناء تجمد القلز لا يظهر مثيلها عند الانصهار .

فالقلز المتجمد على وشك الانصهار عند نقطة (أ) يحوى كمية أقل من الحرارة عن التى يحويها القلز المنصهر عند النقطة (ب) والفرق بين كميتي الحرارة مقسوماً على وحدة الكتلة هو الحرارة اللازمة لإنصهار القلز .



شكل (١٤) منحنى تسخين قلز قى

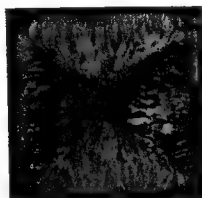
## ٧ — عملية التبلور

إذا صبت القلزات المنصهرة في قالب فسيتكون على جدران القالب بلورات كثيرة صغيرة نتيجة لبرودة القالب ، وستكون قشرة خارجية من الحبيبات الدقيقة ، ثم تبطئ عملية التبلور . وباستمرار التبريد تنمو البلورات اتجاهاً على شكل سيقان في اتجاه الداخل وعكس اتجاه فقد الحرارة داخل القالب . ونتيجة لإزدیاد سمك الجدار المكون من البلورات المتكونة وانخفاض الفرق في درجة الحرارة بين

القالب وما يحيط به ، يعطى قد الحرارة وتتوقف عملية نمو البلورات اتجاهياً على شكل سيقان ويجمد باقى الفلز المنصهر داخل القالب إلى بلورات عفوية غير متجهة .

وشكل (١٥) يبين عملية التبلور هذه بالنسبة لقالب زنك مصبوب وفي الحياة العملية فإن نمو البلورات اتجاهياً غير مرغوب فيه خصوصاً عندما تمكث كثيراً داخل القطعة المصبوبة ، فالشوائب التى توجد فى كل فلز صناعى لا تكون ضارة إذا وزعت بانتظام على كل التركيب الداخلى ، ولكن فى عملية التبلور فى اتجاه واحد ترسب الشوائب بين البلورات وخصوصاً فى القوالب ذات المقطع المربع فى اتجاه القطرين مما قد يؤدى إلى أن تنكسر مثل هذه القوالب أثناء التشكيل بالدرفلة أو السحب بالطرق عند القطرين .

وهناك بعض الحالات يصعد فيها أن يحدث تجمد ذو تبلور اتجاهى حيث يمكن تحسين الخواص المغناطيسية للمواد للمغناطيسات القائمة القنط ، حيث تتكون بلورات فى أشكال حودية . ويجهز القالب بحيث يكون اتجاه التجمد الموجه حودياً على الاتجاه المراد وضع القطعة المصبوبة منه فى المجال المغناطيسى ، ولهذا الغرض يستخدم قالب مفرج من مادة رقيقة التوصيل للحرارة ويوضع فوق لوح تبريد من الصلب أو النحاس (١) .



١ : ١  
شكل (١٥) تبلور اتجاهى فى مقطع قالب صغير من الزنك المصبوب

## ٨ - حجم الحبيبات وقوة الفلز

من السابق ذكره يمكن التوصل إلى الشروط التى تتبع كى يتجمد فلز منصهر إلى تركيب داخلى دقيق الحبيبات مكون من كثير من البلورات الصغيرة ، ونحت أية شروط يمكن أن يتكون تركيب داخلى كبير الحبيبات مكون من قليل من البلورات الكبيرة .

وعندما يتجمد فلز منصهر يبطئ فتجد الذرات وقتاً كافياً أثناء تكوين البلورات حتى أنه سيوجد بعض منها فى مواقع مناسبة لبعضها لترتب نوايات التبلور وسيختار معظمها الطريق السهل وينضم إلى نوايات التبلور الموجودة ، ولذلك سيكون قليل من البلورات التى تجمعت مع بعضها مكونة تركيبة داخلياً كبير الحبيبات .

1. Gould, J.E. : Magnete mit säulenförmiger Kristallisation. Kobalt Nr. 23  
Juni 1964, Kobalt-Information Düsseldorf.

أما عندما يبرد فلز منصهر بسرعة فإن الذرات لا تستطيع التجول والبحث عن نويات تبلور موجودة ، ولذلك فعدد كبير منها في مواضع كثيرة سيرتب نفسه كنويات تبلور . والبلورات النامية عند نويات التبلور هذه ستزاحم بعضها بسرعة وتكون تركيباً داخلياً دقيق الحبيبات .

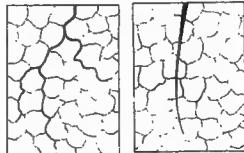
وتحتوى الفلزات عادة على الكثير أو القليل من الشوائب ، وهذه الشوائب تعمل كصائد للتبلور الأول. والفلز المنصهر الغنى بمثل هذه النويات الغريبة سيتجمد تحت هذه الظروف إلى تركيب داخلي دقيق الحبيبات ، ولذلك فإن الشوائب ليست دائماً غير مرغوبة حتى إنه يمكن بالتدبير الماهر إنتاج نويات غريبة ليس لها تأثير ضار على الخواص الأخرى لإنتاج صلب دقيق الحبيبات .

وحجم حبيبات الفلز بعد التجمد يعتمد على عدد نويات التبلور التي يحويها وسرعة تبريده . والتركيب الداخلي دقيق الحبيبات يتميز عن كبير الحبيبات عند درجات حرارة الجو العادية بخواص القوة ، ولذلك فعالمياً يكون مطلوباً . إذن كيف يمكن توضيح خواص القوة للتركيب الداخلي الدقيق الحبيبات ؟ فلنعد بلداً كرتنا إلى الوراء ونرى في غيظتنا مراحل تجمد الفلز المنصهر فترى كيف أن البلورات في الفلز المنصهر تنمو على بعضها وفي النهاية تكون مساحات حدود تظهر تحت المهر كحدود الحبيبات .

وبناء البلورات عند مساحات الحدود يمثل نتيجة مزاحمة البلورات لبعضها عند النمو ، وأما كمن الخلل هذه لها قوة كبيرة بالنسبة للأجزاء الأخرى العادية في الجزء الداخلي للبلورة ، نتيجة الحالة الإضطرابية التي تتواجد فيها ذراتها ، والمادة عند حدود الحبيبات في الفلزات النقية هي أقوى جزء في الحبيبات . ولما كان لغض الحجم من المعدن التي ذى التركيب الداخلي دقيق الحبيبات حدود حبيبات أكثر منه إذا كان ذا تركيب داخلي كبير الحبيبات فإنه سيكون أكثر قوة في الحالة الأولى عنه في الحالة الثانية ، ولذلك فإنه عند التحميل أكثر من اللازم عند درجات حرارة الجو فإن الشروخ الناتجة التي تسير في اتجاه تلي أقل مقاومة ، ولذلك فإنها تستمر داخل البلورات وتسمى شروخ عبر البلورات (شكل ١٦) .

أما في درجات الحرارة الأعلى فتتكون ذرات حدود الحبيبات أكثر حركة ويمكنها

ترك وضعها الإضطرابي . ولذلك تصبح القوة عند حدود الحبيبات أقل ، فإذا انكسرت قطعة من المعدن عند درجات حرارة أعلى نتيجة تحميل أكثر من اللازم فإن الشرخ يتبع الطريق الأقل مقاومة وهو عندئذ حدود الحبيبات . وينشأ شرخ بين البلورات ينبع مساره حدود الحبيبات بين البلورات وبعضها .



شكل (١٦) شرخ عبر . شكل (١٧) شرخ بين البلورات . البلورات .

وهذه الخواص تشترك فيها أساساً كل الفلزات النقية . أما السبائك والفلزات غير النقية ، فإنها كثيراً ما تتبع ظواهر أخرى بسبب الشوائب أو الترسيبات على حدود الحبيبات مثلاً .

## ٩ - نظم تبلور الفلزات

يتكون الفلز المتجمد من الحالة السائلة من بلورات كما ذكر من قبل ، والفلزات من المسود التي ترتب ذراتها نفسها في الحالة الصلبة في هياكل فسراجية (شكل ١٨) على العكس من

المواد غير المتبلورة حيث توجد اللوات

بدون ترتيب مجاور بعضها .

وكل هيكل فراغي مكون من عدد من

الخلايا الأولية ، أصغر لتخللاً إلى تعطي

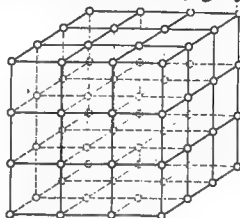
دلائل هذا الهيكل ، وحسب شكل الخلية

الأولية يسمى النظام البلوري . ومن السبعة

نظم البلورية المعروفة في الطبيعة قبل كل

شيء يأتي في المقدمة بالنسبة للفلزات، نظاما

المكعب والسداسي .



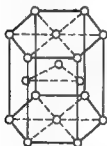
شكل (١٨) جزء من الهيكل الفراغي المكعب

والفلزات التي تبلور حسب هذين النظامين ليست هي أبسط الأشكال ، فخلاياها الأولية تحوي

جانب اللوات في الأركان ذرات في منتصف مركز الهيكل الفراغي - مكعب ذو ذرة في المركز

(شكل ١٩) أو ذرات في منتصف أوجهه - مكعب ذو ذرات في منتصف أوجهه والأخير هو

الأكثر شيوعاً بين الفلزات (شكل ٢٠) .

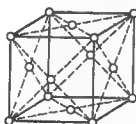


شكل (٢١) النظام السداسي

أكثرها كثافة مثل بيريليوم

والكاديوم ، ولانثانوم

والنيوبيوم والزنك .



شكل (٢٠) مكعب ذو

ذرات في منتصف أوجهه

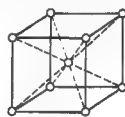
مثل الألومنيوم الرصاص ،

الذهب ، الحديد (فوق

٩١١°C) الإيريديوم ،

الكالسيوم ، النحاس والتيتانيوم

والبلاديوم والفضة .



شكل (١٩) مكعب ذو

ذرة في المركز مثل الكروم

والحديد (تحت ٩١١°C)

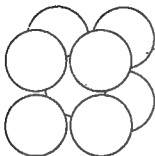
والنيليديوم والتيتانيوم

والنوليديوم (التيتانيوم)

الأشكال (١٩) إلى (٢١) خلايا الأولية لأكثر الهياكل الفراغية شيوعاً في الفلزات .

والهيكل السداسي يظهر في الفلزات بحيث يكون بين المستويين ذوى الست زوايا مستوى فيه ثلاث ذرات .

وهكذا يتكون الهيكل السداسي ، أكثر الهياكل كثافة (شكل ٢١) .



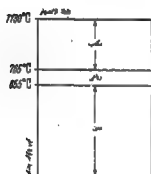
شكل (٢٢)

حلبة أولية ذات ذرة في المركز  
مغلقة كجسومة من الكسرات

وعلى هذه الوثيرة فإن الدوائر في الأشكال تعطينا المكان المتوسط للذرة والمخطوط الموصلة بين الدوائر توضح شكل التخللايا الأولية ويظهر في (شكل ٢٢) تصور أقرب إلى الواقع حيث رسمت الذرات (قلب الذرة + مدارات الإلكترونات) على شكل كريات .

وأطوال أضلاع أحرف التخللايا الأولية ، أى المسافة بين المكان المتوسط للذرة والمكان المتوسط للذرة أخرى هي ثوابت الهيكل الفراغى وهذه المسافات الصغيرة تقاس بالانجستروم ومسافة الهيكل الفراغى للسديد  $2.87\text{\AA}$  ، النحاس  $3.62\text{\AA}$  ، والرصاص  $4.95\text{\AA}$  وذلك عند درجة حرارة الجو العادية .

وهناك فلزات تختلف هيكلها الفراغى عند درجات الحرارة المختلفة ، وهذه الأشكال المختلفة لنفس الفلز تعرف بـ «ألوتروبي» (١) أى ظواهر تعدد أشكال الهياكل الفراغية واختلافها للبلورات .



شكل (٢٣) تعدد الأشكال  
الفراغية لفلزات الحديد

فاليورانيوم على سبيل المثال يغير ترتيب ذراته مرتين أثناء تسخينه من درجة حرارة الجو حتى انصهاره - وبالعكس عند التبريد - أى يظهر في ثلاثة أشكال من الهياكل الفراغية (شكل ٢٣) . بمعنى أنه في المفاعلات ذات درجات الحرارة العالية في كل مرة تدخل فيها درجة حرارة التغير فإن ذرات عنصر الإحتراق تعيد ترتيب نفسها ، بمعنى أن أعيد الإحتراق لتعطي باستمرار ، ولتجنب الحوادث الناتجة عن تغير أعيد الإحتراق المصنوعة من اليورانيوم تصنع هذه الأعيد بحيث يوجد اليورانيوم في حبيبات دقيقة موزعة في فلزات مثل الألومنيوم أو يستعمل اليورانيوم مخلوطاً مع مادة أخرى غير مصدر ليشكل أوكسيد أو كربيد أو تتريد اليورانيوم .

(١) من اليونانية، عطف ، مضاد = Allo ، أشكال مختلفة = Allotrop (بالمقارنة متساوي = Iso أى أشكال متعددة متغيرة) .

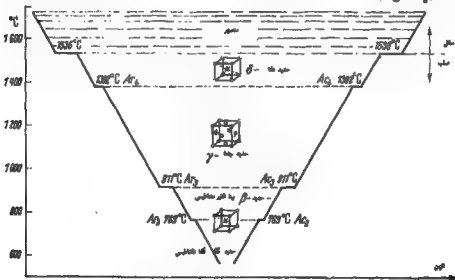


١٠ - قنبرات الحديد النقي

عندما يتغير التركيب البلوري في الحالة المتجمدة فإنه إما أن تسبب حرارة أو تنبعج حرارة ، حسب ما إذا كان ذلك يحدث أثناء التسخين أو التبريد . وللك في الفازات التي تتغير فيها الأشكال الفراغية للبلورات تظهر درجات الحرارة التي تعيد عندما ذرات الميكل الفراغي ترتيب نفسها كسقاط توقف تحت درجة حرارة الإلتصاف ، وعلى سبيل المثال بين ( شكل ٢٤ ) منحنيات تبريد وتسخين الميكلد التي .

ولو تابعنا مسار منحني التبريد نجد أن نقطة التوقف الأولى عند  $1536^{\circ}\text{C}$  وهي درجة حرارة تجمد الحديد التي وكنية حرارة الانصهار التي تنتج هنا تحفظ درجة حرارة القلتر المنصهر في نفس المستوى حتى يتبلور آخر نقطة من القلتر السائل . وبعد التجمد تكون كل حبيبات الحديد التي مكونة من مكعبات ذات ذرات في المركز طول بعد ضلعها  $2.93\text{\AA}$  ويرمز لهـسـله المكعبات بالحرف اليوناني  $\alpha$  دلتا .

والحديد في الفصيلة دلتا  $\delta$  يظل موجوداً مع استمرار التبريد حتى درجة حرارة  $1392^{\circ}\text{C}$  حيث تظهر نقطة توقف جديدة يتحول عندها الحديد من الفصيلة  $\delta$  المكعبة ذات اللرات في المركز إلى مكعبة ذات ذرات في منتصف الأوجه طول بعد ضلعه  $3,68\text{\AA}$  . والمكعبات المتكونة ذات اللرات في منتصف الأوجه تسمى  $\gamma$  (جاما) ويسمى الحديد في درجات الحرارة الأقل من  $1392^{\circ}\text{C}$  حديد من الفصيلة  $\gamma$  .



شكل ( ٢٤ ) منحنيات التبريد والتجميد الشديد للنش

وتبرد العينه بعد ذلك لوقت طويل دون حدوث أى تغير سوى النكاش فى الحجم حتى درجة حرارة 911°C حيث تظهر نقطة توقف أخرى مرة أخرى ويتغير تركيب الفصيلة جاما إلى البى

تداخلت ذرات هيكلها حتى أصبح طول ضلع المكعب عندئذ  $3.63 \text{ \AA}$  وتحول إلى فصيلة المكعب ذي ذرة في المركز . والمكعبات الناتجة عند  $911^\circ\text{C}$  ذات اللزعة في المركز تسمى فصيلة ألفا وطول ضلعه عند  $911^\circ\text{C}$   $2.90 \text{ \AA}$  تصل عند درجة حرارة الجلو العادية  $2.86 \text{ \AA}$  .

والحديد في الفصيلة ألفا يختلف عن الحديد في الفصيلة  $\gamma$  دلتا في طول ضلع المكعب فقط ويعزى طول ضلع الفصيلة دلتا  $\gamma$  الأطول إلى أنه عند درجة الحرارة العالية تكون ذبذبات الذرات أطول ولذلك تحتاج إلى مسافات أكبر عنها في درجات الحرارة المنخفضة عندما يكون الحديد من فصيلة  $\alpha$  .

والتدرجات في المنحنى التي يحدث عندها التغير في الحالة الصلبة أقصر من التدرج الذي يحدث عند التجمد نتيجة صغر كمية الحرارة الناتجة عند التغير في الحالة الصلبة عن تلك الناتجة أثناء التجمد من الحالة السائلة .

ومنحنى التسخين للحديد النقي هو كما في كل الفلزات صورة مماثلة لمنحنى التبريد لمكعبات الحديد في الفصيلة  $\alpha$  ألفا ذات اللزعة في المركز تتغير عند التسخين حتى  $911^\circ\text{C}$  إلى مكعبات الفصيلة  $\gamma$  جاما ذات اللزعات في منتصف الأوجه التي تتغير بالتالي عند درجة  $1392^\circ\text{C}$  إلى مكعبات  $\delta$  دلتا ذات اللزعة في المركز .

وتحدث مرحلة أخرى عند درجة حرارة  $769^\circ\text{C}$  حيث يفقد الحديد النقي مغناطيسية عند تسخينه حتى هذه الدرجة . وهذا التغير في الخواص يظهر على شكل تدرج صغير في المنحنى ونفس التغير يحدث عند التبريد من درجات حرارة أعلى من هذه الدرجة . وكان المعتقد أولاً أنه يحدث تغير في التركيب وسمى الحديد بين  $769^\circ\text{C}$  ،  $911^\circ\text{C}$  حديد الفصيلة  $\beta$  بيتا ، وقد ثبت بعد ذلك أن الهيكل الفراغي البلوري نفسه لا يتغير أي يظل هو نفس هيكل الفصيلة  $\alpha$  ألفا . وهذا لا يستعمل لتصوير حديد بيتا  $\beta$  في النهاية العملية الآن ولذلك يكون الحديث عند درجة حرارة  $911^\circ\text{C}$  من تحول من  $\delta \rightarrow \beta$  بل دائماً من تحول من  $\delta \rightarrow \alpha$  .

ونقاط التوقف في منحنيات التبريد والتسخين للحديد النقي يشار إليها بالحرف A (من الفرنسية يتوقف = Arrêter) وتحت هذا الحرف يوضع حرف r (١) إذا كانت نقاط التوقف تمر من التبريد ، ونقاط توقف منحنيات التسخين تتميز بحرف C (٢) وهذه النقاط هي فوق ذلك مرققة .

ونقطة  $A_1$  تظهر عند الحديد المصهور على كربون عند درجة حرارة  $723^\circ\text{C}$  . ولنقطة التحول  $A_2$  ( $\delta \rightarrow \alpha$ ) أهمية كبرى في الصناعة حيث يتحول الحديد في الفصيلة ألفا  $\alpha$  ذو اللزعات في المركز بسرعة كبيرة إلى الحديد في الفصيلة  $\gamma$  جاما ذي اللزعات في وسط الأوجه والذي يتغير ثانية إذا انخفضت درجة الحرارة عند نقطة  $A_3$  .

refroidissement	تبريد	(١) من الفرنسية
chauffage	تسخين	(٢) من الفرنسية

## ١١ - التغير في البناء الداخلي للفلزات نتيجة قوى خارجية

إذا تأثر فلز صلب عند درجة حرارة الجبر العادية بقوة خارجية ، مثلاً إذا طرقت بمطرقة أو نوى أو عرض للكسر ، فإن التماسك الذرى لقطعة الفلز يحاول الاحتفاظ ببنائه .

وإذا أمكن باستعمال قوة أكبر التغلب على مقاومة الفلز فإنه يبدأ في التأثر ، ولكنه لا ينكسر بل يبدأ في تغيير شكله وزيادة التغير في الشكل يزداد الفلز صلابة (التصلب على البارد) وتزداد مقاومته لأية زيادة في التغير (مقاومة التشكيل) ويلزم استخدام قوة أكبر باستمرار لزيادة التغير في شكل الفلز (زيادة التشكيل) .

وإذا استمر الطرق نحين اللحظة الى تنهى عندها قدرة الفلز على التشكيل وتبدأ المينة الى زاد عليها التشكيل في التشقق .

وقوة الفلز وقدرته على التشكيل والتصلب تحت تأثير قوى خارجية من الخواص الهامة ذات القاندة العملية وتختلف هذه الخواص بالنسبة للفلزات المختلفة وتتغير بتغير درجة الحرارة .  
ماذا يحدث داخل البلورات عندما يبدأ التشكيل ؟

لو فرض أن قطعة الفلز مكونة من بلورة واحدة بدلا من كثير من الحبيبات الغير منتظمة الشكل والحجم ، ومثل هذه البلورات يمكن صنعها في المعمل ، فإنه عند تحميل هذه البلورة حمل بسيط سواء بالشد أو الضغط فإن ذرات هيكل هذه البلورة ستقرب أو تبعد عن بعضها بمرور فذا توقف التحميل تعود إلى أماكنها القديمة ثانية ولذلك فإن شكل هذه البلورة يتغير تغيراً مرناً (تشكيل مرناً) .

وإذا زاد التحميل زيادة كبيرة تبدأ الذرات في الإنزلاق على مستويات معينة - مستويات الإنزلاق - من المستويات البلورية حيث تبدأ أجزاء من هيكل البلورة في الابتعاد بمسافة بعد فزى أو مضاعفاته عن بعضها (شكل ٢٥) .



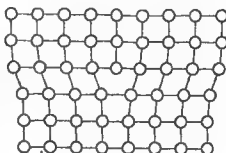
شكل (٢٥) تبدأ مجموعات ذرات البلورة المنفصلة

تحت تأثير التحميل الخارجى في الإنزلاق من بعضها وترتب نفسها في الوضع المناسب لاتجاه التحميل . ويتم تشكيل البلورة المنفصلة .

ولا تعود الذرات بعد ذلك إلى وضعها السابق عند رفع الحمل وقطعة الفلز قد تغيرت تغيراً دائماً . وكلما زادت مستويات الإنزلاق في فلز ما كلما زادت قدرته على التشكيل . ولذلك فإن الفلزات التى تتبلور في فصيلة المكعب ذى الذرات في متصفاتها الأوجه مثل الألومنيوم والتحاس والتيتال التى لها ١٢ احتمالاً للإنزلاق تتشكل بسرعة وسهولة على البارد . والفلزات التى تتبلور في فصيلة المكعب ذى الذرة في المركوز مثل الحديد والمنجنيز والموليبدنيوم والتى لها ٤ احتمالات للإنزلاق ، يجب معاملتها باحتراس

عند التشكيل . والفراغات التي تبلور في فصيلة السداسي مثل الزنك والمنجنيز ولها احتمالان للإنتلاق يجب استخدام سرعة بطيئة في تشكيلها على البارد .

وتلوي التماسك التي تربط بلورات الهيكل البلوري بعضها معروفة ، ولذلك من السهل حساب القوة اللازمة لإنتلاق جميع ذرات أحد المستويات في بلورة متناهية ، وتكون عندئذ القوة اللازمة لذلك كبيرة للغاية من القوة اللازمة في الواقع . والقوة المحسوبة تكون ألف إلى عشرة آلاف مرة كما هي في البلورات الحقيقية بالنسبة للبلورات المثالية المحصورة في المعدن (١) .



شكل (٢٦) تصور منتظم لعلية تليق موضع الذرة .

وليس الذرات حرة في حالة تليق لها هيكلًا حاليًا من العيوب ، ولذلك فالبلورات الحقيقية تتوى عادة مجسومة من التجاوزات عن الهيكل المثالي (عيوب الهيكل) ومن عيوب الهيكل البلوري التي توجد في كل لذر مواضع الترسبات على حدود الخيبيات .

وتليق موضع الذرة في عمليات الإنتلاق هو أحد عيوب الهيكل البلوري التي تنتج عن تجمع الذرات على مستوى من المستويات البلورية بينما تبعد عن بعضها عند المستوى البلوري التالي (شكل ٢٦) . وعادة تمر خطوط كاملة من هذا التليق ، عاطة بعيوب الهيكل الذري ، غير كل البلورة ويمكن أن تتقل هذه الخطوط تحت تأثير قوة خارجية من صف من البلورات للأخر ، وعمليات الإنتلاق تستمر هكذا في خطوات إنتلاق على مستويات الإنتلاق ولذلك تحتاج لقوة أقل .

والصلب على البارد يمكن تصويره على أنه المواضع المعيبة الأخرى مثل : حدود الخيبيات أو التغيرات الجديدة التي نتجت عن التشكيل ، كذلك الفجوات التي توجد عند مستويات الإنتلاق تؤدي إلى تعطيل عملية الإنتلاق بشدة. ولتخطي العقبات التي تزداد باستمرار يجب أن تزيد القوة المؤثرة باستمرار إلى درجة تمكن لها مستويات الإنتلاق الأمر الذي يؤدي إلى تصلب . وفي الفلزات كثيرة البلورات تظهر إلى جانب هذا عقبة أخرى وهي عمليات الإنتلاق في البلورات المجاورة .

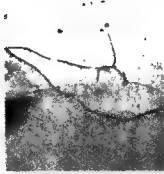
والمراحل الناتجة عن الإنتلاق يمكن رؤيتها بوضوح تحت المهر في الفلزات المتبلورة العادية والشكل رقم (٢٧) يوضح خطوط الإنتلاق المنحنية التي نتجت حول الأثر الذي أحدثته منشور قياس الصلادة في حينة لامعة منشئة من الحديد النقي .  
وتختفي خطوط الإنتلاق ولا تظهر ثانية إذا لمعت العينة ونمشت من جديد لأن بناء الهيكل الفراضي

(1) Gny, A.G.; Petzow, G. : Metallkunde für Ingenieure, Frankfurt/Main : Akademische Verlagsgesellschaft 1970.

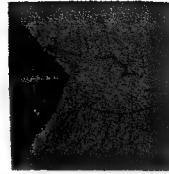
للبلورة يظل كما هو إذا حدث فيه إزلاق بسيط (شكل ٢٨).

والفترات التي تكون احتمالات إزلاقها صغيرة بسبب بنائها الميكل مثل تلك المتبلورة في فصيلة السداسي (الكادميوم

والمغنيسيوم والزنك) الخ يمكن تشكيلها بتأثير قوى خارجية عن طريق البناء التوأمي الميكانيكي .



400 : 1



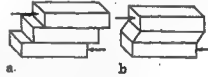
400 : 1

شكل (٢٨) نفس الموضع بعد تلميعه ونمحه مرة أخرى . خطوط الإزلاق غير ظاهرة .

شكل (٢٧) خطوط الإزلاق الناتجة عن أثر منشور قياس الصلادة في البلورات الحديدية .

ويمكن تخيل البناء التوأمي : أن بعض أجزاء الميكل القراخي تنطبق بسرعة كبيرة جداً في اتجاهات معينة كما يظهر في الرسم (شكل ٢٩) .

والتشكيل الناتج عن ذلك صغير بالمقارنة بذلك الناتج عن الإزلاق ، ويمكن رؤية هذه التشكيلات التوأمية تحت المجهر إذا جهزت العينة بعد التشكيل حيث أن الاتجاهات المختلفة في الميكل القراخي تظل موجودة .



شكل (٢٩) الفرق بين الإزلاق (a) والبناء التوأمي (b)

وبلاحظ حدوث التشكيل عن طريق البناء التوأمي في بعض الفترات التي لها احتمالات إزلاق كثيرة ، وفي حالة تعثر التشكيل بالإزلاق . ويحدث ذلك عندما تعمل القوة المؤثرة فجأة بحيث لا تستطيع عملية الإزلاق أن تبدأ في الوقت المناسب ومثلاً يظهر في البلورات الحديدية شرائط توأمية تسمى شرائط نويمان (شكل ٣٠) .

وهناك نوع آخر من التوأم الذي لم توضح قطعياً بعد، ينشأ بعد المعاملات الحرارية . وهذه التوأم الناشئة عن التسخين تظهر في العينة المنسقة دائماً كأزواج من الخطوط المستقيمة المتوازية وهي مميزة لبعض الفترات مثل النحاس والنيكل والفضة والذهب ويحصل أن البلورات التوأمية الناشئة عن التسخين قد نمت من نويات توأم (١)

1) Schumann, H. : Metallographie, 7. Aufl. Leipzig ; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.



400 : 1

شكل (٣١) توائم ناتجة من  
المعاملات الحرارية في بلورة  
من النحاس .



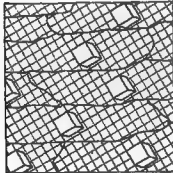
400 : 1

شكل (٣٠) شرائط توأمية ناتجة  
من التحميل الفجائي في بلورات الحديد  
( شرائط نورمان )

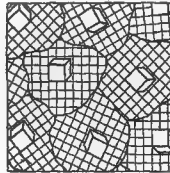
وإذا تكونت قطعة من الغاز من مجاميع عديدة غير منتظمة من الحبيبات فإن هيكلكل حبيبة  
من الحبيبات قبل التشكيل على البلود سيكون في وضع متغير عن زميلاتها أى أنه ليس لها اتجاه واحد  
(شكل ٣٢) والخواص الميكانيكية (كقوة الشد والتمدد) لحبيبات المرتبطة بالاتجاه تعادل نفسها .

ولذلك يكون لقطعة الغاز غير المشكلة نفس الخواص الميكانيكية في جميع الاتجاهات وعند  
التشكيل على البارد بشدة تأخذ الهياكل الفراخية للبلورات أنسب وضع بالنسبة لاتجاه التحميل شيئاً  
فشيئاً. ويظهر التركيب الداخلي اتجاه ويصبح له نسج (شكل ٣٣). ونتيجة لذلك يكون لها في اتجاه  
الإنزلاق خواص ميكانيكية (قوة الشد والتمدد) أخرى عن تلك التي في الاتجاه العمودي لذلك .

بمستخدم الوصف ونسج ، إذا أخذت بلورات المواد المعدنية اتجاهها محدداً ، وبجانب نسج التشكيل  
يعرف أيضاً نسج السباكة (انظر شكل ١٥) ونسج الغزو (مثلاً في الطبقات الناتجة من الترسيب الكهربى) ونسج  
إعادة التبلور .



شكل (٣٣) للز شكل على  
البارد . الخواص الميكانيكية في  
اتجاه الإنزلاق فيها في  
الاتجاهات الأخرى .



شكل (٣٢) للز غير شكل .  
الخواص الميكانيكية واحدة في  
جميع الاتجاهات .

ويمكن أن يستمر الاتجاه الواحد للبلورات حتى أن خطوات الإنزلاق في الفلزات ذات البلورات الكثيرة تستمر من بلورة إلى أخرى في الهيكل المعدل للبلورات المجاورة .

وبزيادة التشكيل على البارد فإن المعادن النقية كثيرة البلورات والهبالك المتجانسة تسلك سلوك البلورة المنفصلة ويظهر هذا في الشكل ( ٣٤ ) كتال لصفيحة رقيقة من النحاس الأصفر المتجانسة ( سبيكة من النحاس والزنك % 67.5 نحاس مكونة من بلورات محلول صلب ) وقد شكلت الصفيحة المكونة من حبيبات دقيقة جداً على البارد ، وسلكت الحبيبات الدقيقة الكثيرة المشكلة والبلورات التي أدخلت نفس الاتجاه مسلك البلورة المنفصلة ، وانتقلت خطوات الإنزلاق لداخل كل الطبقة المشكلة من بلورة إلى أخرى .



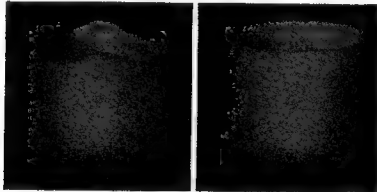
200:1

ولما كانت مقاومة الإنزلاق للصفائح التي يظهر بها التسيج تختلف باختلاف الاتجاه فإنه تتكون أطراف صغيرة ( شكل ٣٥ ) إذا صنت من مثل هذه الصفائح قطع بالسحب الشديد .

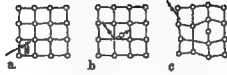
وفي صناعة المفاصل الدرية فإن الخليفة الآتية مهمة : وهي أن المواد

المفصلة لها القدرة على تغيير خواص المواد الصلبة حيث تستطيع النيوترونات السريعة التي حدث فيها التشكيل .

الفراشي ، واللدة التي طردت من مكانها يمكنها أن تثبت نفسها بين فترتين من ذرات الهيكل .



شكل ( ٣٥ ) تكون أطراف من سبب وعاء صغير من الألومنيوم  
والتي الجين للز ليس له أطراف .



شكل (٣٩) تغير صفات الفلز نتيجة قذف النيوترونات (أ) نيوترون  $N$  يتغلغل في الهيكل البلوري ويقابل ذرة من ذرات الهيكل (ب) الصدمة قوية لدرجة أن تتغلغل الذرة من مكانها ويصرف النيوترون وينفذ مكان عمال في الهيكل البلوري (ج) الذرة المنطلقة وحفرت نفسها بين ذرتين من ذرات الهيكل البلوري .  
المواضع الخالية والذرات المشفورة تشوه الهيكل البلوري ويصبح المعدن قصفاً .

ويظهر هذا بالتفصيل وببسيط شديد في (شكل ٣٩) .  
والنيوترون الذي غير اتجاهه القدرة على أن يخلد بالذرات الأخرى من أماكنها وهذه الذرات المقلوبة لا تستمر في أماكن بين غيرها من الذرات في الهيكل الفراغي بل نتيجة اكتسابها طاقة حركة من النيوترون ، تتلطف بلديها من الذرات من أماكنها في هيكل البلورة ، وهكذا ينشأ عدد من الأماكن الخالية في الهيكل الفراغي وعدد من الذرات في أماكن بين الذرات الأخرى في الهيكل البلوري (حوب فرنكل) هذا ليل أن تستغل طاقة الحركة المكتسبة من النيوترون . وهذه الحبوب يمكن أن تعدد الهيكل البلوري وبذلك تجعل الفلز صلباً كذا لو كان قد تعرض لتشكيل على البارد (التصلب بالهبة النيوترون) .

وكما نلاحظ أن المواضع الخالية في الهيكل البلوري بهذه الطريقة كلما كان من الممكن أن تملأها الذرات المنطلقة ، وعند ذوات تعرض للاضمار وذرات درجة الحرارة ، تحاول «حوب فرنكل» هذه الوصول لملء لينة تليق (١) .  
وعند درجات الحرارة العالية التي توجد داخل المفاعل يمكن للذرات أن تتحول ويمكن أن تتألف «حوب فرنكل» في البلورة ، وهذا السبب يجب تبريد العينات التي توضع لأغراض التجارب وسط المفاعل ، هذا إذا أريد فحص العينات الناتجة عن التعرض للاضمار . وقد أمكن عن طريق تعريض عينة من النحاس إلى الإضمار النيوتروني زيادة لوتها إلى مائة من القيمة العادية ، كذلك أمكن تغيير خواص أشباه الموصلات مثل الجرمانيوم والسيليكون ومركباتها بواسطة تعريضها للاضمارات الذرية بالطاقة (٢) .

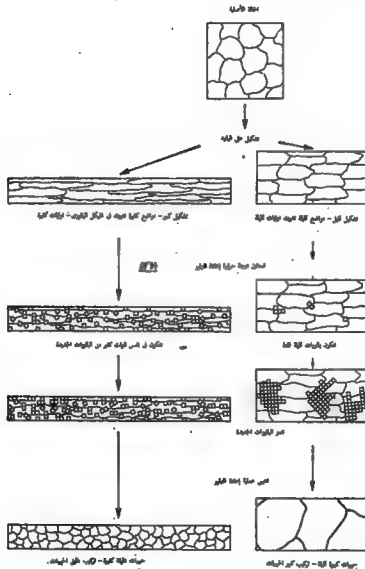
## ١٢ — إعادة التبلور ونمو الحبيبات

تستطيع بالذرات الفلز إذا تعرض لتشكيل على البارد — كما ذكرنا في الباب السابق — حسب القوة المستخدمة في التشكيل . وتحاول الذرات أن تحافظ على البناء البلوري عند التشكيل على البارد ولكنها لا تستطيع أن تمنع تغير مواضع كثيرة في الهيكل البلوري والذرات التي أصبحت في وضع اضطراري يبعثها بالهزل الأول أن تحرر نفسها من وضعها هذا وأن يصبح الهيكل البلوري منتظماً ما أمكن . ويتقصا عند درجات الحرارة المنخفضة طاقة الحركة اللازمة لذلك ، فإذا تعرضت للتسخين أصبحت أكثر حركة وتكتسب كمية من الطاقة تمكنها من البدء في إعادة بناء الهيكل البلوري الغير منتظم . وكما هو موضح بالشكل (٣٧) بالترتيب تم عملية تبلور كاتلي تحدث أثناء عملية التجمد من حالة الإنصهار .

1. Sagel, K. ; Werkstoffe unter Bestrahlung, in : Werkstoffhandbuch Nichtmetalle, 2. Aufl., Düsseldorf : VDI-Verlag 1960.
2. technica 1966, Nr. 24, S. 2390.



وفي الحبيبات التي حدث فيها تشكيل كبير أصبح الهيكل البلوري في حالة عدم انتظام شديدة لدرجة أن الذرات تحاول تكوين هيكل جديد . وعند التسخين تتكون أعداد كبيرة من البلورات في المواضع الغير منتظمة ولكنها لا تستطيع أن تنمو كثيراً لأنها ستزاحم بسرعة مع غيرها من البلورات المجاورة التي تكونت من جديد . أي أنه بعد تشكيل شديد على البارد ينشأ تركيب من كثير من البلورات الصغيرة ، تركيب دقيق الحبيبات .



شكل ( ٣٧ ) فرح مرب لعملية إعادة التبلور ولكن لا يكون الفرح دائماً أثير فقط إلى هيكل البلورات التي تكونت من جديد .

وإذا نشأت عن التشكيل القليل على البارد مواضع غير منتظمة قليلة ، فإن ذرات البلورات المماثلة تبقى في البلورات القليلة ، التي تبلورت من جديد ، حتى أن التركيب أساساً ينهى ويتكون من جديد بانتظام ، أى أنه تنشأ فقط حبيبات قليلة كبيرة .

ولما كانت الذرات تحاول تكوين هياكل بلورية جديدة بسرعة ، تزيد كلما زاد عدم انتظام الهياكل القديمة ، فإن الذرات تبدأ في تكوين الهياكل الجديدة عند درجات حرارة أقل كلما زادت كمية التشكيل على البارد. أى أن عملية إعادة التبلور ثم عند درجات حرارة أقل كلما زادت درجة التشكيل .

وعند درجات حرارة إعادة التبلور العالية تبدأ بعض البلورات المكونة من جديد في ابتلاع بعضها ، وينشأ ذلك لأن الحبيبات الأقل ثباتاً في هيكلها تنضم إلى جاراتها الأكثر ثباتاً وتنمو مع بعضها في حبيبة جديدة ، وكل حبيبة تحوى مواضع غير منتظمة تكون أقل ثباتاً ، ونمو الحبيبات هذا لا يتوقف بانتهاء عملية إعادة التبلور إذا ظل الفلز موجوداً عند درجة حرارة عالية أى حيث تكتسب الذرات حرية حركة كافية (إعادة تبلور ثانية) ونمو الحبيبات من أسباب تكون حبيبات كبيرة عند درجات حرارة التبلور العالية .

وحجم الحبيبات الجديدة المكونة نتيجة عملية إعادة التبلور في الفلزات النقية يعتمد تماماً على درجة التشكيل ودرجة حرارة إعادة التبلور وزمن أو مدة التسخين .

والفلزات المستعملة في الحياة العملية ليست نقية تماماً والشوائب تعطل نمو الحبيبات . والفلز المصنوع على شوائب كثيرة ينتج إعادة تبلوره حبيبات أدق من الفلز النقي عند نفس درجة التشكيل ودرجة حرارة إعادة التبلور .

(شكل ٣٨) بين عينة شد لخابور من الألومنيوم النقي ونتيجة لشكل خابور عينة الشد فإن العينة استطالت بشير انتظام عندما سميت . وعند تخميرها لإعادة التبلور بعد ذلك نشأت حبيبات دقيقة في المنطقة التي تأثرت كثيراً بالسحب وحبيبات كبيرة في مكان المقطع الكبير الذي لم يتأثر كثيراً في عملية السحب . وعن طريق هذه التجربة يمكن إثبات ميل الفلزات عند التخمير بعد التشكيل على البارد لتكوين حبيبات كبيرة .



1 : 1

شكل (٣٨) عينة خابور شد من الألومنيوم النقي أميد تبلورها عند درجة حرارة  $500^{\circ}\text{C}$  .

## ثانياً : السبائك

### ١ - كلمة عامة

للفلزات النقية ، خواص قليلة تكون فيها هي الأحسن مثل التوصيل الكهربائي والقدرة على التشكيل اللدن .

والخواص المطلوبة لمعظم الاستعمالات الصناعية يحصل عليها عن طريق السبائك .  
والسبائك هي خليط من الفلزات أو من الفلزات والعناصر غير الفلزية ، تحتفظ فيها بصفات الفلزات .  
وعن طريق امكانية إضافة الفلزات والعناصر الغير معدودة يمكن تغيير خواص السبائك لإنتاج أنسب المواد لمختلف أغراض الاستعمال . وبالأستمرار في تجاربنا نلعب خطوة أخرى لإنتاج وفحص سبائك ثنائية مكونة من عنصرين .

وفي معظم الحالات تنتج السبائك بصر الفلز الأصل أو الأكثر كمية ثم إضافة العنصر الآخر في الحالة السائلة أو الصلبة ، وتنشأ الصعوبات إذا كانت درجة حرارة انصهار العنصر المضاف القليل الكمية أعلى بكثير من درجة حرارة انصهار الفلز الغالب . فتسخن الفلز الغالب إلى درجات حرارة أكثر بكثير من درجة حرارة انصهاره قد يكون مضرأ أى أن يذوب الفلز أو يبدأ في إذابة كميات كبيرة من الفلزات التي تخرج عند صب الفلز فتسبب في أن يصبح الفلز المصبوب اسفنجياً . وإذا كانت السبيكة تتكون من عناصر لها درجة حرارة انصهار أعلى من درجة حرارة انصهار السبيكة يمكن أن يبدأ بصنع قطع صغيرة من العناصر ذات درجة حرارة الانصهار الأعلى كأساس للسبيكة ، ويمكن إذابة العناصر ذات درجة الانصهار الأعلى فيها فيما بعد في الحالة المنصهرة ، ولذلك لا يحتاج لرفع درجة الحرارة بدون داع .

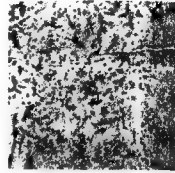
والفلزات المختلفة تتعامل مع بعضها ومع غيرها من العناصر باختلاف شديد فهناك فلزات تتحد مع بعضها وغيرها من العناصر في الحالة السائلة اتحاداً كاملاً وتظل على ذلك في الحالة الصلبة ، أو تتحد اتحاداً جزئياً . وبعضها يتحد مع بعض في الحالة السائلة ولكن كلامها يسلك سلوكه الخاص في الحالة الصلبة . وبعضها لا يتحد مع بعض في كل من الحالة السائلة والصلبة .

### ٢ - عدم الذوبان الكامل في كل من الحالتين السائلة والصلبة :

وبالبداهة في آخر حالة ذكرت فإنه في كل من الحالة السائلة والحالة الصلبة فإن كل عنصر من

عناصر السيكة يتبع قانونه الخاص ، ومثل هذه السبائك وجب تسميتها « غاليط » لأنها لا تبنى بأحد الشروط الأساسية للسيكة الحقيقية وهي أن عناصر السيكة يجب أن تلوب ذوباناً تاماً في الحالة السائلة .

وبالقاعدة الملحوظة بالنسبة لأغلب السبائك وهي أن درجة حرارة انصهار السيكة تختلف عن درجة حرارة انصهار عناصر تكوينها لا توجد في هذه الحالة لأن كل عنصر مكون من مكونات السيكة ينصهر عند درجة حرارة انصهاره والعنصر ذو درجة حرارة الانصهار الأعلى هو الذى يتجمد أولاً ويظل الآخر سائلاً حتى تنخفض درجة الحرارة كثيراً وتسمح له بالتجمد . وإذا تركت مثل هذه السيكة تتجمد دون تأثير خارجي فإن المنصهرين المكونين سيتوسبان في طبقتين على بعضهما حسب الوزن النوعي لكل منهما ، وهذا الخليط المترسب غير مناسب للاستعمال العملي . وبواسطة التحريك الشديد للسيكة المنصهرة وعصا تبريدها بسرعة يمكن تحاشي تكوين تلك الطبقات ويمكن بذلك إيجاد خليط منتظم التوزيع من كلا المنصهرين المكونين للسيكة .



100:1

شكل ( ٣٩ ) برورز رولمان  
بل ( غير منسحق ) الفكونين  
الأساسي الناتج لحامى ، البقع  
الداكنة وراسص .

وبهذه الطريقة تنتج السيكة المعروفة بالبرورز وهي خليط من النحاس والراسص ( شكل ٣٩ ) وتستعمل في صنع سبائك كرامى الدوران ويمكن للراسص هنا أن يقوم بمهمة التشحم لمدة قصيرة إذا تعطل وصول الزيت إلى كرامى الدوران وفوق ذلك تشكل القطع الفلزية الصلبة الدقيقة التي تصل إلى كرامى الدوران مع قطع الرصاص وتدخل فيها وبذلك لا يحدث من هذه القطع الفلزية أية أضرار .

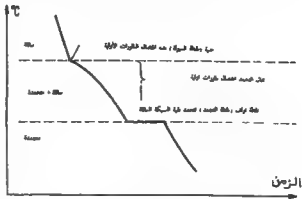
### ٣ - نظم السبائك الأوتكتيكية

يتكون هذا النوع من السبائك من عنصرين يذوبان في بعضهما ذوباناً تاماً في الحالة السائلة ، ولكن عند التجمد تكون ذرات كل نوع بلوراتها الخاصة وفي الحالة الصلبة يوجد خليط من البلورات تحوي كل منها أحد عنصرى السيكة فقط .

ولما كانت البلورات المختلفة المتكونة عند تجمد عينة من هذا النوع من السبائك تختلف في تفاعلاتها مع محلول النش ، فإنه يظهر تحت المهرج نوحان من الحبيبات .

وعند النظر لمنحنى تبريد إحدى هذه السبائك ( شكل ٤٠ ) يلاحظ عدم وجود نقطة توقف تتجمد عندها كل السيكة ويظهر بسده التجمد - أى انفصال أول البلورات - على شكل « حنية » على منحني التبريد الذى يستمر في الميل ، ولكن ليس ميلاً شديداً ، وباستمرار انخفاض درجة الحرارة يزيد انفصال البلورات ، وفجأة تظهر نقطة توقف يتوقف

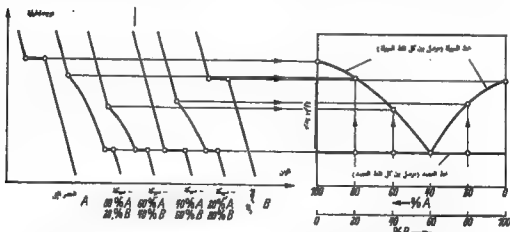
عندها انخفاض درجة الحرارة وتجمد بقية السبيكة المنصهرة عند درجة حرارة ثابتة كأنها فلز نقي ويسمى الجزء من المنحنى التبريد من بدء ظهور «الحنية» وحتى النقطة التي انفصلت منها آخر بالورة «مجال التجمد» أو فترة التجمد، والنقطة على المنحنى التي بدأ عندها التجمد تسمى نقطة السيولة والنقطة التي تجمدت عندها آخر بالورة تسمى نقطة التجمد.



ولشرح نوعية هذه السبائك نحضر سبائك كثيرة سائلة تختلف نسب عناصرها المكونين لها وتوصل منحنيات تبريد لهذه السبائك (شكل ٤١) التي سيُشابه عددتها (شكل ٤٠). ونقاط بدء التجمد أو نقاط السيولة تظهر عند درجات حرارة مختلفة والتجمد ينتهي عند نقطة توقف (نقطة تجمد) تقع عند نفس درجة الحرارة بالنسبة لجميع السبائك. وفي أحد المنحنيات لا يظهر مجال التجمد على الإطلاق على الرغم من أنها سبيكة وليست فلزاً نقياً.

شكل (٤٠) منحنى تبريد سبيكة قامة اللوبان في الحالة السائلة، وغير ذائبة على الإطلاق، في الحالة الصلبة.

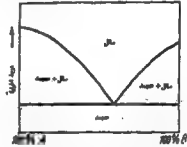
جميع نقاط السيولة ونقط التجمد نوقعا في شكل بياني - يمثل الإحداثي الأفقي فيه تركيز كل السبائك المحتمل تكوينها بين المنصهرين أ، ب النقيين ويمثل الإحداثي الرأسي درجة الحرارة - إذا وقعت جميع نقاط السيولة من منحنيات التبريد فإن الخط الواصل بينها جميعاً سيكون على شكل حرف V مما يظهر أن درجة حرارة انصهار كل من المنصهرين أ، ب تنخفض نتيجة تكون السبيكة والخط الناتج من توصيل كل نقاط السيولة يسمى خط السيولة وتقع جميع نقاط التوقف للتجمد النهائي عند



شكل (٤١) استنتاج شكل التجمد لكل السبائك المكونة من المنصهرين أ، ب من منحنيات التجمد لكل سبيكة في حالة اللوبان الناعم في الحالة السائلة وحم اللوبان الناعم في الحالة الصلبة.

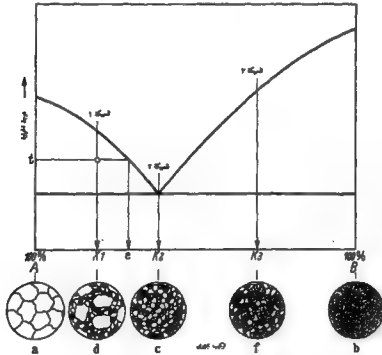
نفس درجة الحرارة والخط الواصل بين نقط التجمد - ويسمى خط التجمد - هو لهذا السبب خط أفقي .  
ويقسم خطا السيولة والتجمد الشكل إلى أربعة أقسام ( شكل ٤٢ ) توجد في كل قسم حالة معينة  
في المنطقة فوق خط السيولة تكون السبائك سائلة ، وتحت خط التجمد تكون صلبة ، أما بين خطي  
التجمد والسيولة في القسمين الباقيين فوجود بلورات وسيبكة منصهرة . والشكل بأكمله يسمى منحنى  
إتزان ، وهو يمثل كل السبائك بين المنصرين أ ، ب .

وتسمى الطريقة التي تستنتج بها منحنيات الإتزان من  
منحنيات التبريد ( التحليل الحراري ) . ويمكن الحصول  
على معلومات أخرى عن طريق القموص المجهري للتركيب  
الداخل .



كيف تهلو السبائك المختلفة إذن تحت المجهز ؟ باستخدام  
الشكل ( ٤٣ ) يمكن ملاحظة ثلاث سبائك أثناء التبريد ،  
وكما هو معروف فإن الفازين الثنتين أ ، ب سيتجمدان  
على هيئة حبيبات غير منتظمة الشكل .

شكل ( ٤٢ ) حالات السبائك  
الموجودة في الأقسام في الشكل المنتج  
رسم ( ٤١ ) .



شكل ( ٤٣ ) منحنى إتزان لكل السبائك بين المنصرين أ ، ب التي تلو في بعضها تماماً في  
الحالة السائلة ولا تلو على الإطلاق في الحالة الصلبة .

( أ ) بلورات أ نقية - ( ب ) بلورات ب نقية - ( ج ) أويتكتك من بلورات أ ، ب - ( د ) بلورات أولية  
من أ وسط أويتكتك من بلورات أ ، ب - ( هـ ) تركيز السبكة المنصهرة الباقية من السبكة ١ عند درجة حرارة ت  
( و ) بلورات أولية من ب وسط أويتكتك من بلورات أ ، ب

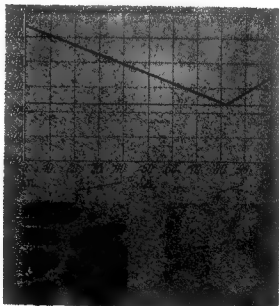
كل السبائك التي تقع على يمين ويسار السبيكة رقم (٢) ذات التركيز  $\gamma$  التي تجمدت كالفلز التي تحاول الوصول ، ولو جزئياً ، إلى هذا التركيز عن طريق تكوين بلورات من الفلز الموجود منه ذرات زائدة .

وبالنسبة للسبيكة رقم (١) تتكون عند التجمد بلورات أولية مكونة من ذرات الفلز أ فقط وتجهد هذه البلورات الأولية التي انفصلت الفرصة والوقت كي تنمو ، وتقل ذرات الفلز أ في السبيكة نتيجة استمرار استهلاكها في تكوين بلورات أولية ويتغير تكون باقي السبيكة المنصهرة باستمرار ويقترّب أكثر التركيز  $\gamma$  . وإذا أريد معرفة تركيز السبيكة المنصهرة الباقية أثناء فترة التجمد عند درجة الحرارة مثلا يرسم خط أفقي من النقطة ت حتى يلاقى خط السيولة في نقطة تقاطع تبين على خط التركيز ، تركيز باقي السبيكة المنصهر عند درجة الحرارة ت . وإذا رسمت خطوط أفقية ووجدت نقط التقاطع المختلفة لها عند درجات حرارة أقل من درجة الحرارة « ت » ثبت أن تركيز باقي السبيكة المنصهر - نتيجة تكوين بلورات أولية أخرى من الفلز أ يقترّب من تركيز السبيكة  $\gamma$  . فإذا انخفضت درجة الحرارة حتى تصل إلى خط التجمد سيكون تركيز باقي السبيكة المنصهر هو نفس تركيز السبيكة رقم ٢ . وستتجمد كله عند هذه الدرجة بتكوين خليط دقيق من البلورات أ ، ب الذي سيحيط بالبلورات أ الأولية التي تكونت ، وإذا كان الفلز أ أكثر ليونة والفلز ب أكثر صلابة فستزيد صلابة السبيكة كلما زادت نسبة الفلز ب (تصلب السبيكة) .

ويسرى على السبيكة رقم ٣ نفس ما قيل عن السبيكة رقم (١). فقط ستختلف في أن البلورات الأولية المنفصلة هي بلورات مكونة من ذرات الفلز ب .

أما بالنسبة للسبيكة رقم (٢) فلن تفصل من السبيكة المنصهرة أية بلورات قبل التجمد النهائي ولن يوجد هناك مجال لتجمد تفصل فيه بلورات أولية بل تتجمد هذه السبيكة كفلز نقي عند درجة حرارة ثابتة إلى خليط مكون من حبيبات دقيقة من بلورات أ ، ب التي تسمى أويتكتك (وهي الكلمة اليونانية لجهد الانصهار) .

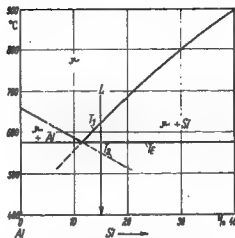
وهذه التسمية ترتبط بتنظيم السبائك الأويتكتيكية بمختلف أنواعها . ويسمى شكل الإتران أو يتكتيكي ، والتركيب الداخلي الذي تظهر فيه البلورات الأولية محاطة بالأويتكتيك له تركيز أويتكتيكي



100:1

فكل (٤٤) معنى إتران سبائك الزئبق والكاديوم بلورات أولية من الزئبق في أويتكتك من الزئبق والكاديوم . بلورات أولية من الكاديوم في أويتكتك من الكاديوم والزئبق .

نتيجة انفصال البلورات الأولية . وتسمى النقطة التي يلتقي فيها جزءاً خط السائلة نقطة الأوتكتك ، والسبائك التي على يسار نقطة الأوتكتك هي سبائك أقل من الأوتكتك والتي على يمينها سبائك أكثر من الأوتكتك .



شكل (٤٥) بلورات أولية مزدوجة ناتجة عن التبريد الزائد مبنية في جزء مسطح من منحنى إتران سبائك الألومنيوم مع السليكون .

وفي الحياة الواقعية يحدث أحياناً أثناء تجمد السبائك الصناعية تعطيل لعملية التبلور ينتج عنه تركيب داخلي يختلف كثيراً عما يجب أن يكون حسب منحنى الإتران النظري .

ومن هنا النوع : البلورات الأولية المزدوجة التي تظهر كثيراً في سبائك الألومنيوم مع السليكون بالقرب من نقطة الأوتكتك وبينها جزء منحنى إتران سبيكة الألومنيوم مع السليكون الظاهر في (شكل ٤٥) .

فحسب منحنى الإتران يجب أن تنفصل من السبيكة  $L_1$  عند درجة حرارة السائلة  $T_1$  بلورات سليكون أولية ، وإذا لم تنفصل هذه البلورات نتيجة تعطيل عملية التبلور ، نتيجة الصب في قالب بارد مثلاً ، فيمكن أن تبرد السبيكة السائلة حتى درجة حرارة  $T_2$  أكثر من اللازم (امتداد غير ثابت لخط السولة) ثم تنفصل بلورات أولية من الألومنيوم . ونتيجة عملية الحلق الناتجة من بلورات الألومنيوم المنفصلة سيتوقف التبريد الأكثر من اللازم وتنفصل بلورات السليكون من السبيكة السائلة أثناء ارتفاع درجة الحرارة حتى تصل إلى درجة حرارة الأوتكتك ، وإذا وصل تركيز باقي السبيكة المنصهرة إلى تركيز الأوتكتك ينفصل أوتكتك مكون من بلورات صغيرة من الألومنيوم والسليكون . وبعد التجمد يكون التركيب الداخلي عبارة عن أوتكتك من الألومنيوم والسليكون يحيط بلورات أولية من الألومنيوم وبلورات أولية من السليكون كما هو موضح بالشكل (٥٠) .

#### ٤ - المركبات البينية

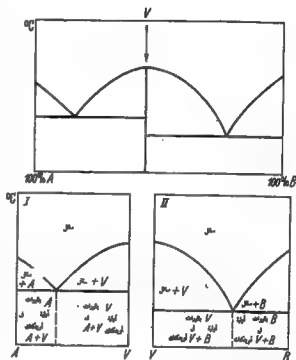
تكوين سبائك من الحديد مع الكربون هو من الحقائق ذات الأثر الكبير في التطور الصناعي ؛ ويمكن أن يتواجد الكربون تقريباً في التركيب الداخلي لهذه السبائك أو أن يتحد مع الحديد على هيئة كربيد الحديد (المادة الكيماوية  $Fe_3C$ ) ويمكن التأثير على ميل الكربون للتواجد في إحدى هاتين الصورتين عن طريق سرعة التبريد أو إضافة عناصر أخرى للسبيكة مثل السليكون أو المنجنيز .



وكريد الحديد من المركبات البينية<sup>(١)</sup> التي تظهر كثيراً في السبائك ولها تركيب البلوري الخاص الذي يختلف عن التركيب البلوري للعناصر المكونة له ، ويظهر في صورة معقدة . ولهذا ففكر من المركبات البينية صلبة وقصفه . ويمكن أن تنشأ المركبات البينية مباشرة بالتغير من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة أو بالتحول في الحالة الصلبة .

ولا تلعب المركبات البينية بالضرورة القواعد التي تتبعها المركبات الكيماوية من حيث أن المرات المختلفة المكونة لها توجد بنسب معينة بالنسبة لبعضها . كيف يكون منحنى الإتران لسبائك ثنائية إذا كان عنصرها يكونان معاً مركباً ببنياً ؟ يجب أن يلوب المتصران في بعضهما في الحالة السائلة تماماً وأن لا يلوبا على الإطلاق مع بعضهما في الحالة الصلبة ، كما في النوع السابق . وتأخذ أولاً الحالة السهلة التي يظل فيها المركب البيني عند التسخين موجوداً حتى ينصهر عند درجة حرارة ثابتة ( ينصهر دون أن يتحلل ) .

وبين ( شكل ٤٦ ) مثالاً لذلك :  
المتصر A ، المتصر B يكونان المركب البيني V بنسبة 55% A ، 45% B ويقسم المركب البيني منحنى الإتران إلى جزئين لكل جزء منهما شكل إتران أويكتيكي مستقل والجزء رقم I يمثل كل السبائك المكونة من المتصر A ، المركب البيني V بينما الجزء II يمثل كل السبائك المكونة من المركب البيني والمتصر B .



شكل ( ٤٦ ) منحنى إتران يوجد به مركب  
بيني V = مركب بيني .

والبثورات الأولية هي والأويكتيك يمكنها أن تأخذ صوراً جميلة أو خاصة بها مميزة لها . والأشكال ( ٤٧ ) حتى ( ٥٢ ) تبين كيف تكون الطبيعة صوراً متغيرة من أنواع البثورات .

( ١ ) كلمة مركب بيني تعني مركباً من فلزات . ولكن اللانثانات مثل الكربون والأكسجين والفسفور والكبريت تكون مع الفلزات مركبات لها خواص فلزية ، ولذلك يطلق هذا الاسم على هذه المركبات أيضاً .



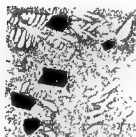
500:1

شكل (٤٨) أويكتك الفضة مع  
النحاس - بلورات أولية من الفضة .



400:1

شكل (٤٧) أويكتك الزرنيخ مع  
للأنتيمون .



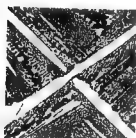
200:1

شكل (٥٠) أويكتك الألومنيوم  
والسيلكون - بلورات أولية مزدوجة  
من الألومنيوم (فاتح) ومن السيلكون  
(غامق) ناتجة عن التبريد للأزلك عن الحد .



400:1

شكل (٤٩) أويكتك النحاس مع  
أكسيد النحاس - بلورات أولية  
من أكسيد النحاس .



200:1

شكل (٥٢) أويكتك الحديد مع  
كربيد الحديد . بلورات أولية من  
كربيد الحديد .



200:1

شكل (٥١) أويكتك الألومنيوم  
مع الجرمانيوم - بلورات أولية من  
الجرمانيوم .

الأشكال من ٤٧ إلى ٥٧ بلورات أولية وأويكتك (جمعت بمعرفة أيليا كورمان) .

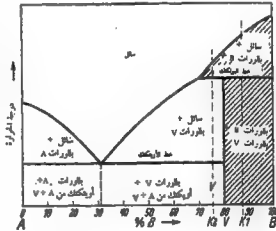
## ٥ - التفاعلات البيرتكيبية

منحنيات إتران السائل تصبح صعبة نوعاً ما عندما تكون المركبات المكونة غير ثابتة حتى درجة حرارة الانصهار ، بل تتحلل ، وهذا التحلل مرتبط هو الآخر بظاهرة حرارية حيث تظل درجة الحرارة ثابتة على الرغم من مد السليكة بالحرارة وتظهر نقطة توقف في منحنيات التبريد أو التسخين لمدة قصيرة وعند هذه النقطة يتحلل المركب البيني إلى مادة جديدة وسليكة منصهرة والتفاعلات التي فيها يتحلل عند التسخين نوع من البلورات إلى نوع آخر من البلورات وسليكة سائلة ، وبالتالي عند التبريد تتحد بلورات منفصلة مع السليكة السائلة مكونة نوعاً جليداً من البلورات، تسمى تفاعلات بيرتكيبية.

ولتتخذ هنا أيضاً حالة ذوبان المنصهرين ، تمام الذوبان في الحالة السائلة وعدم ذوبانها تماماً في الحالة الصلبة . فبجانب خط الأويكتك سيظهر هنا خط أفي آخر جديد هو خط البيرتكك ، وذلك عند درجة الحرارة التي يتحلل فيها المركب البيني  $V$  . فوق هذا الخط ستوجد بلورات من  $B$  والسليكة المنصهرة ( شكل ٥٣ ) .

فلذا صرف النظر في هذا الشكل عن الجزء الأيمن المهشمر منه وفحص الجزء الأيسر منه بين القار  $A$  الثاني والمركب البيني  $V$  لوجد أنه منحنى إتران لسليكة أويكتيبية بينهما . فيبقى فحص جزء الشكل المهشمر الذي تغير نتيجة التفاعل البيرتكيبى والجزء المهشمر من الشكل ( ٥٣ ) .

ومن ملاحظة المركب البيني عند التسخين فإنه يبدأ في الانصهار والتحلل في نفس الوقت عند الوصول إلى درجة حرارة البيرتكك . وسينشأ عند درجة حرارة



شكل ( ٥٣ ) مثال منحنى إتران به تقابل بيرتكيبى .

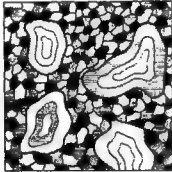
الأويكتك الثابتة بلورات  $B$  وسليكة منصهرة وبعد انتهاء التفاعل البيرتكيبى ترتفع درجة الحرارة — على فرض أن التسخين مازال مستمراً — وتذوب بلورات  $B$  تدريجياً حتى تنصهر كلها عند الوصول إلى خط السيولة . وإذا بردت هذه السليكة نفسها ثانية في الحالة السائلة فستفصل بلورات  $B$  من السليكة المنصهرة .

وعند درجة حرارة البيرتكك تفاعل بلورات  $B$  التي انفصلت مع باقي السليكة المنصهرة وتكون المركب البيني وينتج عن ذلك حرارة وتستهلك كل ذرات القار  $B$  في هذا التفاعل لأن العدد الموجود منها هو القدر الكافى لتكوين المركب البيني .

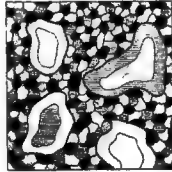
فلذا بردت سبيكة منصهرة بتركيز  $K_2$  فستواجد عند درجة حرارة البريتكتك بللورات من B أكثر من اللازم لتكوين المركب البيني فتبقى البللورات الزائدة عن اللازم كما هي ولا تشارك في التفاعل البريتكتيكي ونمت درجة حرارة البريتكتك سيكون التركيب الداخلي للسبيكة ببلورات أولية من B محاطة بالمركب البيني  $V$  المسمى بريتكتك .

وكذلك فإن السبيكة المنصهرة ذات التركيز  $K_2$  لن يوجد بها عدد كاف من بللورات B للتفاعل مع السبيكة المنصهرة الباقية كلها في تفاعل بريتكتيكي ، أى أنه سيتبقى جزء من السبيكة المنصهرة إلى جانب المركب البيني بعد التبريد إلى أقل من درجة حرارة البريتكتك ونصل إلى نظام الأويتكتك البسيط ثانية . وبزيادة التبريد تنفصل بللورات المركب البيني مباشرة من السبيكة المنصهرة دون تفاعل بريتكتك وتتجمع على سابقتها من بللورات المركب البيني التي انفصلت بالتفاعل البريتكتيكي وتتجمد هذه السبيكة نهائياً كما في الشكل (٥٣) .

وفى الطبيعة لا تحدث التفاعلات البريتكتيكية أثناء التبريد بهذه السهولة التي صورت نظرياً . ومفهوم طبعاً أن البللورات الأولية تتفاعل مع جزء من السبيكة السائلة التي تحيط بها وينشأ حول البلورة الأولية الغلاف النقي غطاء أو قشرة من المركب الجديد يتطلب استمرار التفاعل بين البلورة الأولية والسبيكة السائلة فى سبيكة بتركيز  $K_2$  لن ينشأ فى الطبيعة التركيب المثلث الموجود فى الشكل رقم (٥٤) حيث توجد قشرة من المركب البيني محاطة بأويتكتك مكون من بللورات الفلز A والمركب البيني ، بل ستوجد قشور بها المركب البيني الناشئ من التفاعل البريتكتيكي والمنفصل من السبيكة المنصهرة الباقية مغلفة لقلب داخلي من بللورات B النقية (شكل ٥٥) ولما كانت القشور المغلفة عن التفاعلات البريتكتيكية فقد جاء اسمها من الكلمة اليونانية بيريتكتيك التي تعنى « مبنى حول » .



شكل (٥٥) التركيب الداخلي الحقيق بعد التبريد المادى : بقايا بللورات الفلز B ثنائية محاطة بمركب بينى ناشئ من التفاعل البريتكتيكي ومركب بينى منفصل مباشرة من السبيكة المنصهرة الباقية فى أويتكتك من بللورات الفلز A والمركب البيني .



شكل (٥٤) تركيب داخلي مثال ناتج من تبريد بلى جداً . بللورات مركب بينى ناشئة عن تفاعل بريتكتيكي محاطة ببللورات مركب بينى ناشئة من السبيكة المنصهرة مباشرة موجودة فى أويتكتك من بللورات المهددة A والمركب البيني .

شكل ٥٤ و ٥٥ التركيب الداخلي لسبيكة ذات تركيز  $K_2$  (شكل ٥٣)

(والشكل ٥٦) بين أحد الأمثلة العملية لهذه القشور المغلفة فى تركيب داخلي لسبيكة يورانيوم مع ألومنيوم نحوى 36% يورانيوم حيث انفصل أولاً المركب البيني UAl (رامدى فاتح) والتفاعل

البيريتيكي أنتج الغلاف المكون من  $UAl_4$  (رمادى غامق) وتجمدت باقي السبيكة على شكل أويكتك مكون من  $Al$  ،  $UAl_4$  وبالتبريد الزائد عن الحد نشأت قبل التجمد النهائي بالوروات أولية من الألومنيوم تظهر كبلورات كبيرة فاتحة شبه مستديرة في التركيب الداخلى .

وفى حالة التبريد البطئ مثل هذه السبائك تحاول الطبيعة أن تعادل الفروق في التركيز فاللرات التى كونت بلورات لازال لديها عند درجات الحرارة العالية طاقة حركة تمكنها من أن تتبادل أماكنها مع اللرات المحاورة ، وهكذا تبدأ عملية تحول عامة للرات التركيب الداخلى الراغبة فى أن تعادل الفروق في التركيز (انتشار) . وبعد التجمد النهائي تصبح اللرات مع انقراض درجة الحرارة أقل نشاطاً وتعادل الفروق في التركيز عن طريق الانتشار يتوقف بالتبريد .

أى أنه كلما ظلت سبيكة في درجات حرارة عالية كلما أصبحت عملية الانتشار أكثر كمالاً وفى الحياة العملية يقع الإنسان بعملية انتشار جزئية لأن الانتظار بالسبيكة المنصهرة أو



200:1

شكل (٥٦) قشور مغلقة في تركيب داخلى لسبيكة من اليورانيوم والألومنيوم تنوى 36% بالوزن يورانيوم .

القطعة المسبوكة منها حتى حدوث عملية تعادل للتركيز عند درجات الحرارة العالية غير اقتصادى ، وبالإضافة إلى المصاريف الزائدة الناتجة عن الانتظار مدة طويلة بالقطعة المسبوكة عند درجات الحرارة العالية فإن هذا الانتظار يؤدى إلى نمو الحبيبات وتكوين الحبيبات الكبيرة الغير مرغوب فيها .

## ٦ - السبائك وتكون المحلول الصلب

نبقى ذرات المنصهرين المكونين للسبيكة من هذا النوع الهيكل البلورى مما فتحل اللرات الكبيرة (للتبكيك مثلاً) على ذرات الفلز الأصلى في الهيكل البلورى بيناً تجمد اللرات الصغيرة (للكربون مثلاً) نفسها على التداخل بين ذرات الفلز الأصلى في الهيكل البلورى . والبلورات الناتجة عن هذا تسمى محاليل صلبة وحسب تكوين المحاليل الصلبة إذا نشأت عن تبادل أماكن اللرات والحلول على اللرات فى الهيكل البلورى للفلز الأصلى أو بالتداخل بين ذرات الفلز الأصلى في الهيكل البلورى تسمى محاليل صلبة بالإحلال أو محاليل صلبة بالتداخل .

وسيتشوه الهيكل البلورى للفلز الأساسى قليلاً أو كثيراً نتيجة وجود الذرة الغريبة ، مما يجعل السبيكة المكونة أكثر صلابة وصلادة عن الفلز الأساسى .

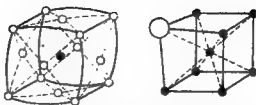
واللرات التى تتداخلت في الهيكل البلورى بالذات تؤثر فيه بشدة ، ولذلك فأى فلز أساسى لا يمكنه أن يسمح إلا بوجود عدد قليل من اللرات المتداخلة لمنصر غريب (قدرة قليلة على الإذابة) بيناً امكانيات إحلال ذرات في الهيكل البلورى وتكوين محلول صلب غير محدودة في وجود ظروف مناسبة (قدرة كبيرة على الإذابة) .

وعليه فإن كل بلورات السبائك ذات الخاليل الصلبة مكونة من ذرات المتصنين المكونين الشبكة وكما يظهر من الإيضاح المرفق في الشكل (٥٧) في كلتا الحالتين تحت المهر كما في حالة الفلزات النقية : يظهر تركيب داخلي موحد من نوع واحد من البلورات ولا ترى أية فروق في بناء الميكل البلوري تحت المهر .

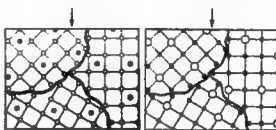
كيف تكون منحنيات التبريد ومنحنيات الإتران لمثل هذه السبائك ؟ ليس لمنحنى التبريد (شكل ٥٨) نقاط توقف بل توجد « حنيتان » يقع

بينهما مجال أو مدى تبريد متأخر يظهر بحيل بسيط مرتبط بكمية الطاقة الحرارية الناتجة عن تكون البلورات المحلول الصلب ، وعند الحنية العليا تتكون أول بلورات المحلول الصلب وبذلك يبدأ التجمد وينتهي عند الحنية السفلى وانحطوط الموصلة بين كل نقاط الحنيتين العليا والحنيتين السفلى لكل السبائك ذات التركيز المختلف تعطي منحني الإتران الذي يشبه السيجار (شكل ٥٩) .

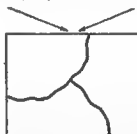
وكمثال يوجد منحني إتران سبائك النحاس (Cu) مع النيكل (Ni) (شكل ٥٩) فالنحاس يكون مع النيكل بلورات محلول صلب ، وهما يتبلوران في بلورات من النوع المكعب في الذرة في منتصف الوجه وهنا تقريباً نفس طول صلح الميكل (النحاس 3.6 Å ، النيكل 3.5 Å) ولذا يكونان معاً



بلورة محلول صلب بالإحلال  
من نوع المكعب في ذرة في  
المركز حلت الذرة القريبة لها  
مكان ذرة الفلز الأصلي .  
بلورة محلول صلب بالتفاعل  
من نوع المكعب في الذرات في  
منتصف الوجه بها ذرة  
تتداخلت في الميكل البلوري .

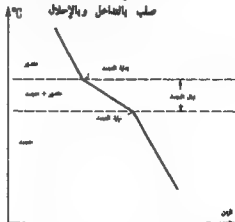


حيثيات مكونة من بلورات  
محلول صلب بالإحلال .  
حيثيات مكونة من بلورات  
محلول صلب بالتفاعل .



تحت المهر يظهر في كلتا  
الحالتين نوع واحد من البلورات

شكل (٥٧) إيضاح مرئى لتكوين بلورات محلول  
صلب بالتفاعل وبالإحلال



شكل (٥٨) منحني تبريد سبيكة ذات ذوبان  
تام في الحالة الصلبة .

عوامل صلبة بسهولة وزيادة تركيز النيكل على ذرات النحاس في المحلول الصلب حتى يصبح الهيكل البلوري مكوناً من ذرات النيكل فقط عندما يصل التركيز أمبيراً إلى ١٠٠٪ نيكل في لقط وكلا الفلزين يكونان معاً سلسلة غير منقطعة من المحاليل الصلبة .

وتفسر معنى الإتران بسيطاً فوق الخط المنحني الأمل في الشكل (خط السولة) تكون كل السبائك سائلة وتحت الخط المنحني الأسفل (خط التجمد) تكون كل السبائك قد تجمدت وفرح تجمد سبيكة واحدة بتركيز  $X_2$  يمكن للإيضاح حيث أن كل السبائك تتجمد على نفس المنوال .

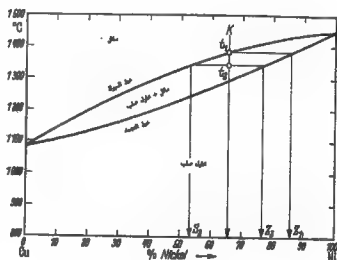
عندما تصل درجة حرارة السبيكة السائلة إلى  $t_1$  على خط السولة يبدأ تكون بلورات محلول صلب من ذرات النحاس والنيكل، والبلورات الأولى تتكون من ذرات أكثر من الفلز في درجة الانصهار الأمل أي أنها ستكون أغنى بالذرات النيكل من السبيكة الأصلية ذات التركيز  $X_2$  وإذا رسم خط أفقي من نقطة  $t_1$  حتى يقطع خط التجمد فإن الخط العمودي الساقط منه عند تركيز  $Z_1$  سيعين تركيب البلورات الأولى المنفصلة وعند فحص تركيب بلورات المحلول بعد مدة عند درجة الحرارة  $t_2$  لأنها تتكون كمية أقل من النيكل (تركيز  $Z_2$ ) .

ولما كانت ذرات أكثر من النيكل مستتبكة في بناء الهيكل البلوري أكثر مما هو موجود في تركيز  $X_2$  ، فإن باقي السبيكة المنصهرة تتكون نسبياً أكثر من تركيز  $X_2$  بالتالي . ويمكن معرفة تركيز باقي السبيكة المنصهرة عند أية درجة حرارة بقرارة ذلك على العمود المسقط من عند تقاطع درجة الحرارة مع خط السولة (مثلاً  $t_2$  عند  $t_2$ ) .

ويلاحظ من الشكل أن تركيب بلورات

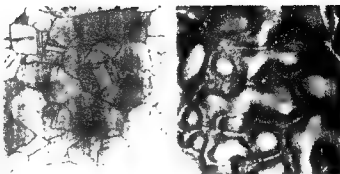
المحلول الصلب المنفصلة يتغير بالتفاضل درجة الحرارة . لكل بلورة ينطف تركيبها من تلك التي تكونت قبلها مباشرة ولكنها جميعاً تبقى حافظة لصلبة انتفاض بينها وبين بقية السبيكة المنصهرة والبلورات المنصهرة .

ولذلك فإن الإتران - عند التبريد البطيء جداً - للمقابل لكل درجة حرارة يتغير باستمرار هذا الإتران بدافع البلورات وكذلك بين البلورات وباقي السبيكة المنصهرة وبعد التجمد النهائي يكون لكل البلورات تركيب مساو لتركيز  $X_2$  .



شكل (٥٩) معنى إتران سبائك النحاس مع النيكل

ولما كانت ذرات بلورات  
سبائك النحاس والنيكل لا تنتشر  
بنشاط فإن السبيكة بعد التبريد  
العاثى لن تكون مكونة من  
بلورات منتظمة التركيب ولكن  
من محلول صلب طبق غير  
متجانس (شكل ٦٠) وفي  
قلب بلورات المحلول الصلب  
الطبق هذه ستوجد بلورات  
محلول صلب غنية بالنيكل محاطة  
بطبقات من محلول صلب ثقل  
فيه باستمرار ذرات النيكل  
والطبقات المختلفة في هذه



200:1  
شكل (٦٠) سبيكة نحاس  
ونيكيل 30% نيكيل بمعالجتها بعد  
الصلب محلول صلب طبق .  
عند 850°C ، بلورات متجانسة  
شكل (٦١) نفس السبيكة  
بعد تشكيلها على البارد بنسبة  
50% وتخميرها لمدة ٢٥ ساعة  
عند 850°C ، بلورات متجانسة

البلورات ستفاعل مع محلول الفلز باختلاف من بعضها عند تخمير معينة منها للمحلول المجهري ،  
ولذلك فإنه يمكن تمييز الطبقات عن بعضها تحت المجهري .

وعند تخمير سبيكة مكونة من محلول صلب طبق عند درجة حرارة بالقرب من خط التجمد يمكن أن تتبادل  
الطبقات ذرات التركيز المختلف عن طريق الانتشار ( عملية تجمد ) . ولتجانس الحبيبات الكبيرة التي قد  
تشكلت لأن الإنسان يكون قبل عملية التخمير هذه نويات بلورات عن طريق التشكيل على البارد بشدة لما سيجد  
تكوننا دليل الحبيبات عند التخمير و ( شكل ٦٠ ) يوضح تركيباً داخلياً متجانساً لنفس سبيكة النحاس والنيكل  
في (شكل ٦٠) بعد تشكيلها على البارد بنسبة 50% وتخميرها بعد ذلك لمدة ٢٥ ساعة عند درجة حرارة 850°C .

## ٧ - سبائك تكون محاليل صلبة بنسبة محدودة

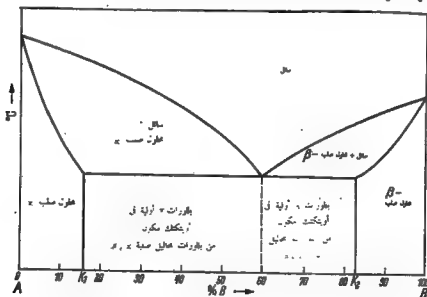
لا توجد دائماً الشروط المناسبة لتكوين المحاليل الصلبة التي توجد في الميكال البلوري للفلزتين  
المضاربين النحاس والنيكل السابق شرحهما فعند وجود فلزين مختلف بلورائهما مثل المكعب ذى  
الذرات في منتصف الأوجه والسداسى لن تكون لهما القدرة على بناء بلورات محلول صلب لكل  
سبائكهما وعندما توجد ذرات قليلة من ذرات الفلز المتبلور في النظام السداسى فيمكن أن تقبلها  
بلورات الفلز الآخر وتتكون في هذه الحالة بلورات محلول صلب متبادلة .

أما إذا زادت في السبائك ذرات الفلز المتبلور في النظام السداسى فستصل إلى الحد الذى تتواجد  
فيه ذرات كافية منه لتكوين بلورات سداسية خاصة بها تقبل هي الأخرى وجود ذرات الفلز المتبلور  
في فصيلة المكعب وينشأ ابتداء من هذا التركيز في التركيب الداخلى للسبيكة المتجمدة مكون آخر يظهر  
تحت المجهري .



وإذا زادت نسبة الفلز المتبلور في فصيلة السداسي فستكثر البلورات السداسية الجديدة إلى الحد الذي لن نجد فيه الذرات التي تتبلور في فصيلة المكعب العدد الكافي لتكون هيكل بلورى خاص بها وعندئذ يتكون التركيب الداخلى من بلورات محلول صلب سداسية فقط وسيوجد نوع واحد من البلورات تحت المجهر والمنطقة التي يوجد بها التوهان من البلورات إلى جوار بعضها تسمى منطقة وجود نوعين من البلورات .

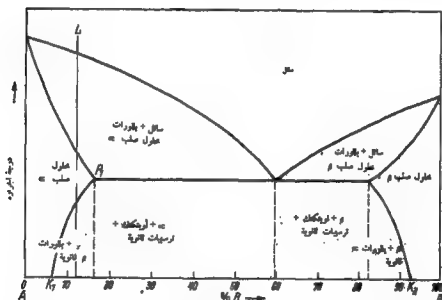
وعند معاينة شكل إتران سيكتك تكون محاليل صلبة بنسب معلومة (شكل ٦٢) سيوجد تركيب داخلى واحد مكون من محلول صلب بالنسبة للسبائك التي تركيزها على يسار التركيز  $K_2$  والسبائك التي تركيزها على يمين  $K_2$  وسيمرر للمحاليل الصلبة بالحروف اليونانية وتسمى بلورات المحلول الصلب الغنية بالفلز A ببلورات محلول صلب  $\alpha$  والغنية بالفلز B تسمى ببلورات محلول صلب  $\beta$  والمنطقة الواقعة بين  $K_1$  ،  $K_2$  سيوجد فيها نظام أويتكتيكي وستنخفض درجة حرارة انصهار كل من الفازين المكونين للسيكتك ويتلاقى خطا السوية في نقطة أويتكتك على خط التجمد ويتكون الأويتكتك من كل من بلورات المحاليل الصلبة  $\alpha$  ،  $\beta$  وعلى يسار نقطة الأويتكتك تتفصل بلورات أولية من المحلول الصلب  $\alpha$  وعلى يمينها تتفصل بلورات أولية من المحلول الصلب  $\beta$  وتتجمد السيكتك المنصهرة الباقية إلى أويتكتك دقيق الحبيبات من بلورات المحاليل الصلبة  $\alpha$  ،  $\beta$  حيث تنخفض درجة الحرارة إلى خط التجمد . وانحطوط التي تحدد مدى قابلية بلورات المحلول الصلب  $\alpha$  لإذابة ذرات الفلز B ومدى قابلية بلورات المحلول الصلب  $\beta$  لإذابة ذرات الفلز A لا تسير في الشكل الحقيقي عودية تماماً كما هو مرسوم في الشكل المبسط رقم (٦٢) بل هي منحنيات تقرب عموماً من الفازين A ، B التقيين بانخفاض درجة الحرارة (شكل ٦٣) وتقل قدرة بلورات المحلولين الصلبين  $\alpha$  ،  $\beta$  على الإذابة بانخفاض درجة الحرارة ، ويوجد تركيب داخلى موحد مكون من نوع واحد من المحاليل الصلبة في السبائك تركيزها بين الفلز النقي A ،  $K_1$  وبين الفلز النقي B ،  $K_2$  .



شكل (٦٢) شكل إتران لسبائك ذات نوعين من المحاليل الصلبة .

ويتصل من الشبكة ذات التركيز  $L$  أثناء تبريدها من الحالة السائلة عند تقاطع خط السوية بالوراث محلول صلب  $\alpha$  غنية بذرات  $A$  وبقي خطوط تجمد الشبكة تسر كما في النوع السابق الذي يتكون فيه نوع واحد من المحاليل الصلبة ، وبانخفاض درجة الحرارة حتى تمام التجمد (الوصول إلى خط التجمد) ستفصل بالوراث محلول صلب أخرى ذات تركيز مختلف وبالتبريد البطيء جداً سيتمادل التركيز المنخفض بواسطة الانتشار بينما بالتبريد المادي ستفصل بالوراث محلول صلب طبقيّة ونمت خط التجمد يتكون التركيب الداخلي من نوع واحد من البلورات (بالوراث محلول صلب  $\alpha$ ) وحالة التركيب الداخلي هذه تظل موجودة حتى نحط الخط  $P_1K_1$  باستمرار التبريد وعندئذ لا نستطيع بالوراث المحلول الصلب  $\alpha$  - التي قل قدرتها على الإذابة باستمرار - الاحتفاظ بكل ذرات الفلز  $B$  في ميكال البلوري ونطرحها إلى حدود الحبيبات .

ونبنى ذرات  $B$  المطروحة هيكلها البلوري فوراً وتأخذ فيه بعض ذرات الفلز  $A$  وهكذا في الحالة الصلبة تنفصل بالتبريد البطيء على حدود حبيبات المحلول الصلب  $\alpha$  بالوراث محلول صلب  $\beta$  غنية بالفلز  $B$  وأما بالتبريد السريع فلا تصل ذرات  $B$  دائماً إلى حدود الحبيبات وعندئذ لا تحيط بالوراث المحلول الصلب  $\beta$  المنفصلة بالوراث المحلول الصلب  $\alpha$  كشبكة بل ستوجد موزعة توزيعاً دقيقاً في بالوراث المحلول الصلب  $\alpha$  .



شكل (٢٢٢) شكل لفرز لسبائك ذات نوعية من المحاليل الصلبة وترسبات ثانوية

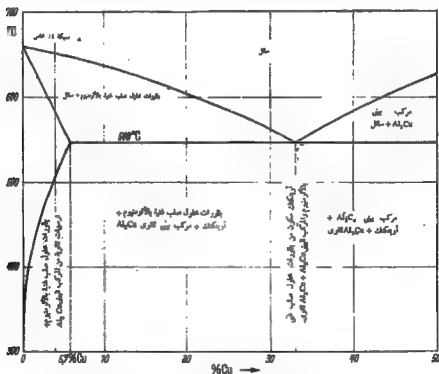
وتسمى بالوراث المحاليل الصلبة التي انفصلت وترسبت من المحاليل الصلبة تسمى بالوراث ثانوية على العكس من البلورات التي انفصلت من المحاليل السائلة وتسمى بالوراث أولية .  
وبالنسبة التي يتراوح تركيزها بين تقاطع  $P_1 - P_2$  في الشكل (٢٢٣) تتجمد أولاً إلى المركبات

الداخلية في الشكل الأمثل رقم (٦٢) وتقل القدرة على إذابة اللوات الغريبة في كل الحاليل الصلبة التي تكونت من انصهار البلورات الأولية أو الحاليل الصلبة التي تكونت مع الأوتكتك باستمرار انخفاض درجة الحرارة بنفس الطريقة التي وصفت بها السبيكة  $\alpha$  مما يعني أنه بالنسبة للسبائك التي يتراوح تركيزها بين  $P_1 - P_2$  ستحدث أيضاً تحت خط التجمد ترسيبات لبلورات ثانوية .

وأشكال الإيزان في كتب ومقالات علمية مفروضة لها الإلزام بعلم الفلزات لا تعرض لوصف التفصيل الذي عرّف هنا الآن، وكثيراً ما تسجل البلورات المتكونة على أنها  $\alpha$  أو  $\beta$ ، وعما إذا كانت بلورات أولية أو مكونة في الأوتكتك أو ترسيبات ثانوية يترك ذلك للاستنتاج من شكل الإيزان .

## ٨ - سبائك ممكنة تقسيماً

عدد من السبائك التي تكون محاليل صلبة بنسبة محدودة يمكن تقسيمها. ومما يهده هذا النوع من التقسية يمكن شرحه من مثال سبيكة الألومنيوم مع النحاس المحتوية على ٤% نحاس وكما هو واضح من الشكل (٦٤) يمكن للألومنيوم أن يذوب في هيكله البلوري عند درجة حرارة  $548^{\circ}\text{C}$  ٥.7% من ذرات النحاس؛ فإذا خرمنا السبيكة التي نحوي ٤% نحاس بعض الوقت عند هذه الدرجة سيذوب كل النحاس الموجود (تخمير الإذابة) .



شكل (٦٤) جزء من شكل إيزان الألومنيوم مع النحاس حتى 50% نحاس .

وإذا تبع ذلك تبريد بطيء ستكون درجة حرارة  $500^{\circ}\text{C}$  هي النقطة التي لا تستطيع بلورات المحلول الصلب عندئذ إذابة أكثر من ٤% من ذرات النحاس ، وإذا استمر التبريد فيجب أن تنفصل ذرات

من النحاس بسبب عدم قدرة البلورات المحلول الصلب على الإذابة ولا يفصل النحاس تقياً من الميكل البلورى للمحلول الصلب بل سيكون مع الألومنيوم المركب البيني القاسى  $Al_2Cu$  وبواسطة هذا المركب الصلب الموزع بانتظام في التركيب الأصل تزيد قوة وصلادة هذه السبيكة .

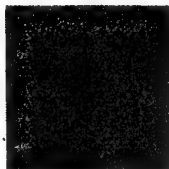
وتحتاج ذرات النحاس للاتصال وتكوين المركب، بعض الوقت الذى تجده بالتبريد البطئ، وإذا لم تترك السبيكة لتبرد ببطء بل بردت بسرعة : سقيت في الماء سبق ذرات النحاس موجودة في الميكل البلورى للألومنيوم في عملية « ذوبان اضطرارى » .

وإذا ظلت هذه البيئة المسقاة عند درجة حرارة الجو العادية (خزنت) تحاول ذرات النحاس أن تسرجع أو تعرض عملية الترسيب التى حصلت قبلاً في التجوّل ، ولما كانت ذرات الألومنيوم عند درجة حرارة الجو العادية تقترب من بعضها، يصعب التجوّل على ذرات النحاس في الميكل البلورى للألومنيوم وتكتف عن محاولتها لتكوين المركب البيني  $Al_2Cu$  ولكنها رغم ذلك تنجح في أن تتكور في كثير من مواضع الميكل البلورى. وتعمل عمليات التجمع والتكور - التى لا ترى تحت المهرج - عمليات الإزلاق . وتزيد تبعاً لذلك صلادة وحد مرونة وقوة السبيكة مع عدم الإكمال من المرونة (تقسية على البارد) .

ويمكن تسير عملية التجوّل للذرات النحاس بشئ من الحرارة فيتكون في بعض الأماكن  $Al_2Cu$  ومع ذلك لا يجب أن ترتفع درجة الحرارة كثيراً (فوق  $170^\circ C$ ) حتى لا يفصل المركب البيني في صورة تظهر تحت المهرج كما في الشكل (٦٥) حيث قسيت السبيكة عند درجة حرارة أعلى من اللازم . فإنه إذا انفصل  $Al_2Cu$  في صورة تظهر تحت المهرج تقل القوة والقوة لأن عملية الإزلاق في الميكل البلورى لن تتعمل بشدة وكثير من السبائك من هذا النوع لا يمكن تقسيها عند درجة حرارة الغرفة ، بل يجب حبسها على ذلك بتسخينها . (سبائك تسمى على الساخن) .

وسبائك الألومنيوم مع النحاس تتصلد ببطء شديد ، ويمكن استعمالها في الصناعة بعد إضافة كميات صغيرة من الماغنسيوم الذى يزيد سرعة عملية التقسية .

وتبقى السبائك التى بردت بسرعة (سقيت) بعد عملية تخمير الإذابة في حالة محاليل صلبة ولذلك تكون لينة وتقبل التشكيل. والقطع المشكلة يمكن تقسيها عند درجات حرارة لا تؤثر في بقية خواص السبيكة. والسبائك المسقاة على البارد يجب تشكيلها بعد عملية تخمير الإذابة والتسقية مباشرة ومسامير البرشام المصنوعة من الفلزات الخفيفة يجب حفظها بعد تسقيتها من درجة حرارة تخمير الإذابة في اللاجات ، فمن طريق الاحتفاظ بها في درجات حرارة منخفضة تتأجل عملية التقسية كثيراً وبذلك يصبح من الممكن الاحتفاظ بمخزون كبير من مسامير البرشام الجاهزة للاستعمال التى تتصلد بعد استعمالها في درجات حرارة الجو العادية في المنشأ الذى ركبت فيه .

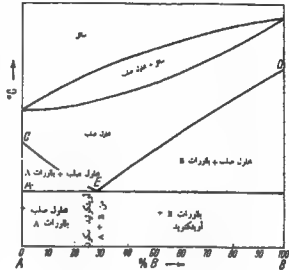


1 : 500

شكل (٦٥) سبيكة ألومنيوم مع نحاس 4% نحاس مسقاة عند درجة حرارة مرتفعة عن المطلوب . ترسبات دقيقة من  $Al_2Cu$  يمكن رؤيتها تحت المهرج .

## ٩ - التغيرات في الحالة الصلبة

كثير من السبائك لا يهدأ بعد أن يتجمد ، وقد رأينا تغيرات في الحالة الصلبة نتجت عن علاقة بين قدرة الفلزات على الإذابة وبين التركيز ودرجة الحرارة و(شكل ٦٦) يصور احتمالات إمكانية مثل تلك التغيرات في حالة مثالية فالفلزان الثقيان B ، A لم فصائل البلورية متعددة (أنظر ص ١٤) فالميكال البلورى للفلز A يغير نفسه عند درجة حرارة نقطة C ، الميكال البلورى للفلز B عند درجة حرارة نقطة D وفق درجات الحرارة المذكورة يكون الفلزان مع بعضهما محلولاً صلباً وسوف تزحزح درجات حرارة تغير الميكال البلورى لما في الحالة النقية نتيجة تكوين السبيكة منهما إلى درجات حرارة أقل والتركيبات البلورية الجديدة تحت درجات الحرارة C ، D غير صالحة لتكوين محاليل صلبة .



شكل (٦٦) التغيرات في الحالة الصلبة .

وتتجمد السبيكة السائلة أولاً في كل

التركيز إلى بلورات محلول صلب متجانسة والتطورات التي تحدث باستمرار التبريد للمحلول الصلب تحت التجمد تشابه عملية التجمد للأويتكتك البسيط (شكل ٤٣) صفحة ٣٦ (ومكان السبيكة السائلة هناك يحل في هذه الحالة المحلول الصلب التي يتفصل منه حسب التركيز باستمرار التبريد حتى الخط CED إما بالبلورات الأولية من A أو B ويقترّب بذلك تركيز المحلول الصلب من تركيز النقطة E أوبالبلورات المحلول الصلب ذات التركيز B تتحلل - دون التحول إلى بلورات أولية - إلى خليط يشبه الأويتكتك - دقيق من بلورات A ، B الذي يسمى أويتكتويد (تحلل أويتكتويد) .

وينشأ الأويتكتويد عند التحول في الحالة الصلبة بينما ينشأ الأويتكتك - كما هو معروف عند التحول من الحالة السائلة ويظهر الأويتكتويد في السبائك على يمين ويسار النقطة B بجانب البلورات الأولية من A ، B التي انفصلت تحت CE ، DE (سبائك تحت الأويتكتويد وفوق الأويتكتويد) .

## ١٠ - تغيرات الصلب في الحالة الصلبة بالتبريد البطيء

درسنا فيما سبق (صفحة ٢١) أن ذرات الحديد النقي المرببة في الميكال البلورى المكعب ذى ذرة في المركز (حديد  $\alpha$ ) عند درجات حرارة الجو العادية تعيد ترتيب نفسها بالتسخين وتكون

هيكلا بلوريا ذا ذرات في منتصف الأوجه (حديد في الفصيلة  $\gamma$ ) عند وصول درجة الحرارة إلى  $911^{\circ}\text{C}$  (نقطة  $\text{Ac}_3$ ). ويحدث التحول من  $\gamma$  إلى  $\alpha$  في الحديد النقي بالتسخين والتبريد بسرعة ودون تعطيل.

وليس هناك استعمالات للحديد النقي في الصناعة برغم مالبسائه العديدة من أهمية كبيرة وفي مقدمتها سبائكته مع الكربون وفي المدى الصغير للسبائك بين الحديد النقي وحتى  $2.06\%$  كربون توجد جميع أنواع الصلب من صلب التسليح الطرى حتى صلب العدة الصلب وقد جرت العادة على تسمية هذه الأنواع من سبائك الحديد مع الكربون صلب غير مضاف إليه عناصر سبك - والتحدث عن صلب مضاف إليه عناصر سبك إذا أضيف إليه عن قصد عناصر أخرى بقصد تحسين خواصه.

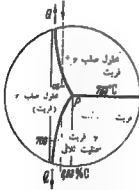
والشكل (٦٧) يبين جزء الصلب من شكل إيزان سبائك الحديد مع الكربون وهذا الجزء يشبه كثيراً شكل الإيزان السابق شرحه للتغيرات في الحالة الصلبة (شكل ٦٦) وتتجمد السبيكة هنا أيضاً أولاً إلى محلول صلب يتعرض لتغيرات أخرى في الحالة الصلبة باستمرار التبريد.

ويقع الأوستنيت عند  $0.8\%$  كربون والمنحنى GSE يصل نقط التحول من  $\gamma$  إلى  $\alpha$  (نقطة  $A_1$ ) لكل السبائك حتى  $2.06\%$  مع بعضها.

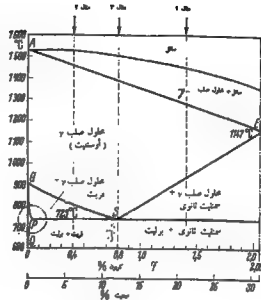
وتستطيع بلورات مكعبات  $\gamma$  ذات اللرات في منتصف الأوجه والموجودة بين خط التجمد والخط GSE استقبال والاحتفاظ بكمية كبيرة من الكربون داخل الهيكل البلوري، وبذلك تكون بلورات محلول صلب بالتداخل وعند درجة حرارة  $1147^{\circ}\text{C}$  تستطيع بلورات المحلول الصلب  $\gamma$  أن تذيب حتى  $2.06\%$  في الحالة الصلبة. وبانخفاض درجة الحرارة تقل القدرة على الإذابة وتصل إلى أدنى قدرتها عند درجة حرارة  $723^{\circ}\text{C}$  (نقطة  $A_1$ ) حيث تذيب  $0.8\%$  كربون ولا تستطيع بلورات المحلول الصلب  $\gamma$  أن تتواجد في درجات حرارة أقل من  $723^{\circ}\text{C}$  وبما أن بلورات المحلول الصلب  $\gamma$  (GSEAG) يسمى أيضاً منطقة الذوبان في الحالة الصلبة والتركيب الداخلي المتواجد في هذه المنطقة يسمى الأوستنيت (سمى على اسم العلامة و. س. روبرت أوستن).

وبلورات المحلول الصلب  $\alpha$  المكمية ذات السرة في المركز ليس لديها مكان كاف للذرات الكربون وقد نتج إحدى ذرات الكربون من حين لآخر أن "تحتشر" نفسها بين ذرات الحديد وبلورات مكعبات  $\alpha$  في أنسب الأحوال عند درجة  $723^{\circ}\text{C}$  وفي أن تحفظ بالنسبة الضئيلة

0.02% كربون ذائبة فيها وداخل المنطقة GPQG يتكون التركيب الداخلى من بلورات المحلول الصلب  $\alpha$  التى تسمى فى علم الميتالوجى (فريت) (١) .



شكل (٦٨) قطاع من الشكل (٦٧) .



شكل (٦٧) جانب الصلب من شكل إيزان سبائك الحديد مع الكربون .

وإذا أردنا ملاحظة كيف يتغير التركيب الداخلى لبعض سبائك الصلب الكربونى بعد تجمدها من الحالة السائلة أثناء التبريد حتى درجة حرارة الجو العادية، فإن تعيد عملية تكون المحلول الصلب من الحالة السائلة التى عرفناها مسبقاً وما يهتأ الآن هو تحول بلورات المحلول الصلب  $\alpha$  تحت الخط GSB . ولما كان الكربون يعطل ذرات الحديد عند إعادة بناء الهيكل البلورى ، فإن عملية التحول لا تسير بسهولة كما فى حالة الحديد النقي وبالتبريد السريع فإن هذا التحول لن يصبح كاملاً ولا يمكن للتركيب الداخلى أن يتكون كما هو فى حالة التبريد البطئ ، ولذلك فإنه فى الأمثلة الآتية للتبريد نفرض أن الصلب سيبرد ببطء للدرجة أنه مع كل عمليات التصليل التى يسببها الكربون فإن كل عمليات التحول ستتم .

مثال ١ : صلب يحوى على 0.01% كربون (شكل ٦٨) عندما تنخفض درجة الحرارة إلى تحت الخط GS تبدأ ذرات الهيكل البلورى فى إعادة ترتيب نفسها وتكون بلورات  $\alpha$  (فريت) وباستمرار التبريد تتحول بلورات  $\delta$  أخرى حتى تتبقى جميعها تماماً عند الخط PG ومن درجة الحرارة هذه حتى الخط PQ يمكن لبلورات المحلول الصلب  $\alpha$  أن تحتفظ بالـ 0.01% ذائبة فى نفسها وعند تقاطع الخط PQ تقل قدرة الفريت على الإذابة إلى أقل من 0.01% وتبدأ ذرات المحلول الصلب  $\alpha$  التى يورد باستمرار وتقل سعة ذيلها بالتالى فى طرد ذرات الكربون الزائدة ولا تترك ذرات الكربون الهيكل البلورى وحدها ولكنها تتفاعل مع ثلاث من ذرات الحديد مكونة المركب البنى كريد الحديد  $Fe_3C$  (سمنتيت) على حدود حبيبات الحديد كسمنتيت من الدرجة الثالثة (سلسلة ثلاثى) (٢) (شكل ٦٩) .

(١) من اللاتينية حديد = Ferrum

(٢) سيوضح لنا لماذا سمى هذا السمنتيت ثلاثى أو من الدرجة الثالثة عند رؤية شكل إيزان سبائك الحديد

مع الكربون كاملاً .



1 : 400

شكل (٩٩) صلب يصوى  
على كربون قليل جداً . فريت  
وسمنتيت ثلاثي .



1 : 1000

شكل (٧٠) بلورات البرليت  
بالتكبير الشديد .

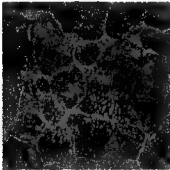
مثال (٢) صلب يصوى على 0,4% كربون (شكل ٩٧) عند  
تقطي الخط GS يبدأ تكون الفريت (بلورات المحلول الصلب  
CC) الذي يستطيع الاحتفاظ بقدر قليل جداً من الكربون ذاتها  
في نفسه وتبدأ ذرات الكربون الزائدة من حاجة الفريت في التجوال  
وتختفي أولاً ببلورات الأوستنيت التي لا تزال موجودة بكثرة  
وباستمرار التبريد تزداد حبيبات الفريت ويزداد تركيز الكربون  
في بلورات الأوستنيت التي مازالت موجودة وعند الوصول إلى  
الخط PS (A<sub>1</sub>) عند درجة حرارة 723°C يتكون التركيب

الداخل من جزئين متساويين من الفريت والأوستنيت وله زادت  
نسبة الكربون في بلورات الأوستنيت حتى وصلت إلى التركيب  
الأويكتويدي (0,8%) ونحت درجة حرارة 723°C لا تكون  
حبيبات الأوستنيت موجودة لتصلو بنقطة توقف تقع عند الخط

PS (A<sub>1</sub>) إلى فريت الذي بقدرته الضعيفة على إذابة الكربون  
ليس لديه أماكن في الهيكل البلوري لذرات الكربون التي عندئذ  
تأخذ معها ثلاث ذرات من الحديد لتعقد معهم كربيد الحديد  
وبلورات الفريت التي تكونت من بلورات الأوستنيت (بلورات  
محلول صلب في مصحلة) يتغلغلها رقائق من كربيد الحديد التي  
تظهر في العينة تحت المجهر بالتكبير الشديد عادة كرقائق دقيقة جداً

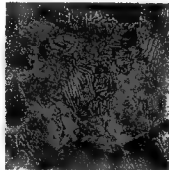
(شكل ٧٠) والعلمان الذي يظهر للعينة تحت المجهر الشبه بنسبان  
القول "لؤلؤ" لذلك كربيد الحديد مصحلة حبيبات الفريت أعطى لهذا  
التركيب الداخل اسم برليت (لؤلؤ Pearl) .

وكل حبيبة برليت هي في نفسها أويكتويدي أي تصوى 0,8% كربون ولذلك فليمكن من التركيب الداخل  
لصلب البر مصاف إلى عناصر أخرى - مع فرض أن التبريد بطيء - تحديد نسبة الكربون فإذا تكون التركيب  
الداخل من 50% من حبيبات الفريت الخالية من الكربون والنصف الآخر من البرليت الذي تصوى كل من  
حبيباته 0,8% كربون فإن الصلب الذي أخذت منه العينة يصوى 0,4% كربون (١) و (شكل ٧١) بين  
التركيب الداخل لصلب تحت الأويكتويدي تحت المجهر .



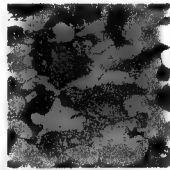
1 : 400

شكل (٧٣) صلب فوق الأويكتويدي  
برليت مع شبكة سمنتيت



1 : 400

شكل (٧٧) صلب أويكتويدي  
برليت خالص .



1 : 400

شكل (٧١) صلب تحت الأويكتويدي  
مكون من فريت وبرليت .

(١) نظرياً يصوى هذا التركيب أيضاً بعض السمنتيت الثلاثي ولما كان السمنتيت الثلاثي يتحلل على  
ورقائق البرليت فإنه في الصلب المصوى على أكثر من ٠,٠٢% كربون لا يظهر كجزء خاص من التركيب  
الداخل .



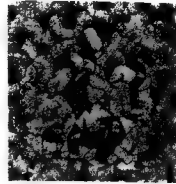
وعند وجود تركيب دقيق الحبيبات وتكبير غير كاف لا يمكن تمييز لثائق البرليت تحت المجهر وثرى حبيبات البرليت كيلع داكنة (شكل ٧٤) .

- وكريد الحديد مثل كثير من المركبات البينية - عكس البرليت الطرى جزء صلب من التركيب الداخلى وكلما زادت كمية البرليت فى صلب ما كلما زادت صلابته وقوته وكلما قلت قدرته على التشكل وشكل (٧٥) يوضح الفرق فى الصلادة بين الفريت والبرليت حيث ضغط منشور جهاز قياسى الصلادة بنفس الحمل فى بللورات كل من البرليت والفريت ولم يستطع المنشور التغلغل لعق كبير فى بللورات البرليت الصلدة كما فى الفريت اللين ، ولذلك ترك فى البرليت أثراً أصغر من الفريت .

مثال (٣) صلب فيه 0.8% كربون عند هذا التركيز يكون لحبيبات الأوستنيت تركيز الأوكسيكود ، ولذلك لا تحتاج لأن تذهب كربونا ومثل هذا الصلب لا يحتاج التحول فى الحالة الصلبة إلى مدى من درجات الحرارة ليصبح له الكربون وتتحول حبيبات الأوستنيت هنا مباشرة عند نقطة توقف إلى برليت وبين (شكل ٧٢) تركيب داخل لصلب أوكسيكود مكون من البرليت أى بللورات فريت يتغلغل ولثائق كريد الحديد .

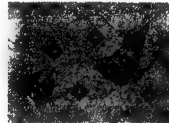
مثال (٤) صلب يحوى عل 1.4% كربون تحوى حبيبات الأوستنيت فى هذا الصلب كربون أكثر من تركيز الأوكسيكود ولكن قدرتها على الإذابة فى منطقة لا كبيرة لدرجة أنه يمكنها الاحتفاظ بالكربون الزائد فى حالة ذوبان .

وعندما تنخفض درجة الحرارة عن الخط SE تقل قدرة بللورات المحلول الصلب على إذابة الكربون ويطرد الأوستنيت الكربون الزائد على شكل سميت ( كريد الحديد) إلى حدود الحبيبات وعند درجة حرارة 723°C تكون حبيبات الأوستنيت قد طردت كمية من الكربون بحيث أصبح تركيبها هو نفسها هو التركيب الأوكسيكودى وتتحول حبيبات الأوستنيت إلى حبيبات برليت كما فى المثال السابق يحيط بها السميت السابق الفصل على شكل طبقات وعند تجهيز صبة جهرية من هذا الصلب تنكسر هذه الطبقات المحيطة وثرى تحت المجهر كشبكة - شبكة سميت (سميت لائوى) (١) (شكل ٧٣) ويؤداد سمك هذه الطبقات الرقيقة حتى نسبة 2.06% كربون .



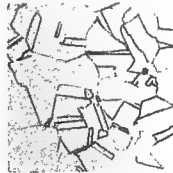
100:1

شكل (٧٤) تركيب داخل فريت برليت يتكبير بسيط .



400:1

شكل (٧٥) بنفس التصيل الأثر الناتج من جهاز قياس الصلادة فى بللورات كل من البرليت والفريت .



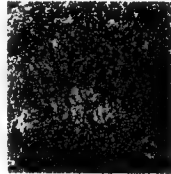
200 : 1

شكل (٧٦) التركيب الجهرى لصلب ليكل - كروم أوستنيتى غير قابل للصدأ

(١) كما ذكر فى حالة السميت الثلاث أو من الدرجة الثالثة يستحصل هذا التصير عند دراسة شكل الإتران الكل لصلبائك الحديد مع الكربون لزيادة الانضغاط أى أنه تكون فى الدرجة الثانية .

## ١١ - تأثير سرعة التبريد على التغيرات في الصلب

كيف تتأثر خطوات التغير إذا أخذ الإنسان قطعة من الصلب صُنعت حتى متنتقة بـ ولم يتركها فرصة لتبرد ببطء ، بل أخلعها ساخنة من الفرن ووضعها في ماء بارد أى سقاها ؟ لن نجد ذرات الكربون التي خرجت من مكانها في المحلول إلى الصلب مضطرة بسبب الوصول إلى درجة الحرارة المنخفضة - لن نجد طريقها بنفس السرعة ومكمبات بـ تحولت إلى مكبات  $\alpha$  الأصغر التي تملأ فيها ذرة حديد فراغ المكب. هذا الفراغ الذي تتواجد فيه مضطرة بعض ذرات الكربون ، وهذه الحالة الاضطرابية (اللويان الاضطرابي) تشد الهيكل البلوري ، مما يجعل الصلب شديد الصلادة ويرى تحت المهر عندئذ تركيب داخلي آخر مكون من لبر رفيعة كثيرة تسمى مارتنزيت (سميت على اسم العلامة أ . مارتنز) ويقال إن الصلب قد تصلد .



400:1

وإذا صُنعت عينة الصلب التي تصلبت إلى درجات حرارة تحت  $A_1$  فستكتسب ذرات الكربون بعضاً من حرية الحركة للصلب المسمى مارتنزيت .

وتتبع في الخروج من حالة اللويان الاضطرابي باضطراب وتكوين كريات من كريد الحديد تتوزع دقيقة داخل التركيب الداخلي . وبذلك تقل صلادة العينة وتزداد متانتها ثانية والتسخين بعد عملية التقسية يسمى تطبيع . وكلما زادت درجة حرارة التخمير كلما أمكن للذرات الكربون أن تحرر نفسها من الحالة الاضطرابية وعملية المعالجة الحرارية المكونة من عملية التقسية وعملية التطبيع تسمى تقسية وتطبيع ، وللصلب المعامل بهذه المعاملة صلابة عالية بالإضافة إلى المتانة الجيدة التي كثيراً ما يتطلبها الصلب المستخدم في المباني ، وعملية التقسية المتبوعة بعملية التطبيع تناسب أنواع الصلب المخوية على من 0.3 - 0.6% كربون .

وبعد التبريد البطيء يتكون التركيب الداخلي لصلب يحتوي على 0.4% كربون من جزعين متساويين من الفريت ورقائق البرليت وإذا بردنا بسرعة أكبر سيختشر الكربون البطيء انتشاراً غير كامل مما يؤدي إلى أنه أثناء التغير بين  $A_1$  و  $A_2$  لن تتكون كمية كافية من الفريت قبل الأوتيكويد. وتبقى كميات من بلورات الأوستنيت أكثر مما يعادل 0.4% كربون وبعد تحلل بلورات المحلول الصلب بـ تحت  $A_2$  ستوجد كميات أكثر من بلورات البرليت في التركيب مما لو كان التبريد بطيئاً وعندئذ لا تكون حبيبات البرليت أوتيكويدية بل تحتوي أقل من 0.8% كربون وبذلك يموء وجود كربون أكثر من الحقيقة . وتصبح رقائق كريد الحديد في بلورات البرليت أرق بزيادة سرعة التبريد وإذا استمرت زيادة سرعة التبريد تأتي اللحظة التي لا يمكن عندها تكون الفريت ويصبح التركيب الداخلي عبارة عن خطوط دقيقة من بلورات البرليت تظهر تحت المهر بعد تظهيرها كبقع غير عديدة مختلفة في تدرج الألوان .

وعند التبريد السريع سيتبقى جزء من الكربون عند التحول داخل التركيب الداخلي ويظهر جزئياً تركيب البايثيت (أنظر فصل ١٢) أو أيضاً المارتنزيت وفي هذه الأجزاء من التركيب الداخلي توجد جزر متداخلة من البرليت في غطوط دقيقة تكثر وتقل حسب سرعة التبريد وعند زيادة سرعة التبريد من ذلك سيكون عدد أقل من جزر البرليت حتى إنه عند التبريد السريع قد يتبقى كل الكربون في حالة ذوبان اضطرارى وينشأ تركيب مارتنزيتي خالص .

وبعملية التقسية والتطبيع لا تنتهى امكانيات تغيير التركيب الداخلي ، وبالتالي خواص الصلب عن طريق المعاملات الحرارية ، وأما طرق المعاملات الحرارية المتعددة كانت لوقت طويل غير موحدة ولتجنب سوء الفهم — على سبيل المثال الذى قد ينشأ بين المنتج والمستهلك فى التفسير المختلف لأحد الأسماء — أصدرت هيئة التوحيد القياسى الألمانية النشرة رقم DIN-Blatt 17014 التى حددت بوضوح الأسماء المرتبطة بعملية المعاملات الحرارية للصلب .

ومن الجمل القليلة القصيرة التى تصف فيها نشرات هيئة التوحيد القياسى الألمانية طرق المعاملات الحرارية المختلفة لا يستطيع الإنسان معرفة ما يحدث للصلب إذا جرم حسب هذه النشرات ، ولذلك ستعود ثلاث عينات من الصلب وتعامل كما جاء فى ثلاث من نشرات هيئة التوحيد القياسى الألمانية وتلاحظ « الحياة داخل العينات » .

مثال (١) تخمير رفع الاجهادات : حسب DIN 17014 التخمير عند درجة حرارة أقل من  $A_1$  ( $723^{\circ}\text{C}$ ) غالباً عند  $650^{\circ}\text{C}$  ينتج ذلك تبريد بطى لتوازن الاجهادات الداخلية دون تغير فى الخواص الموجودة .

عند درجات الحرارة هذه وتفضل درجات الحرارة بين  $550^{\circ}\text{C}$  و  $650^{\circ}\text{C}$  لا يتغير ظاهرياً التركيب الداخلى للصلب ، ولكن يصبح للذرات من حرية الحركة ما يكفى لأن تتحرر من أية أوضاع اضطرارية أصبحت فيها نتيجة تشكيل سابق ( طرق — ذفلة لحام . الخ ) . أو نتيجة تبريد غير منتظم بعد صلبها وتجمدها من الحالة السائلة وتتبادل الاجهادات الداخلية نتيجة لذلك ولكى لا تنشأ اجهادات أخرى فى القطعة وخاصة عند اختلاف أبعاد وسمك القطعة موضع المعاملة الحرارية يجب التبريد ببطء بعد تخمير رفع الاجهادات .

ولا يمكن استخدام تخمير رفع الاجهادات عند درجات الحرارة هذه للصلب المقسى لأن الصلادة التى اكتسبت ستقل وكذلك لا يجب تخمير الصلب المقسى المطيع تخمير رفع الاجهادات عند درجات حرارة أعلى من درجات حرارة التخمير هذه وإلا ستقل الصلابة والصلادة. وبالنسبة لتشغيل على البارد يجب حساب أنه فى مجال التشكيل الخارج بين 8-12% وخاصة فى أنواع الصلب القليلة الكربون ألا تريد درجة الحرارة عن  $650^{\circ}\text{C}$  وإلا فستتج حييات كبيرة نتيجة إعادة التبلور.

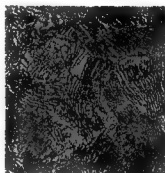
مثال (٢) التخمير انعام حسب ' DIN 17014 التسخين حتى درجة حرارة تحت  $A_4$  مباشرة (يمكن أيضاً فوق  $A_4$  مباشرة) أو التلبد حول  $A_4$  يتبع بتبريد بطيء الوصول إلى حالة لينة (طرية) .

أنواع الصلب الفينة بالكربون عند التركيز الأوستنوكويدي وأنواع الصلب فوق الأوستنوكويدي نحوى كثيراً من رقائق الكريد التي تؤثر كثيراً على قطع العدة عند تشكيلها بالقطع فإذا خمرت هذه القطع بالتلبد حول درجة حرارة  $723^{\circ}\text{C}$  فيلبد بعض رقائق كريد الحديد عند كل مرة ترتفع فيها درجة الحرارة عن نقطة  $A_4$  وسيخفى الكربون في حبيبات الأستيت التي تكونت من جديد وستدخل بقية السميت الباقية عند انخفاض درجة الحرارة بعد ذلك إلى أقل من  $723^{\circ}\text{C}$  مع الكريد الذي انفصل ثانية إلى شكل كروي وبعد تلبد كاف لن يحوى التركيب الداخلى للصلب أية رقائق من الكريد بل كريات سميت (سميت حبيبي) وبجانب خواص التشغيل الأحسن فإن هذا التركيب يشكل الحالة المناسبة، لعملية التسية فيها بعد .

و (الشكل ٧٨) بين بالوراء رقائق البرليت بتكبير شديد وفي الشكل الجاور (٧٩) صورة التركيب الداخلى لعينة من نفس الصلب بعد تخميرها تخميراً تاماً تحلت رقائق البرليت تماماً وكونت كريات سميت وكريات السميت الموجودة داخل الفريت الطرى ستكسر بسهولة عند تشكيلها بالقطع عن رقائق الكريد المتصلة ببعضها . وأصبح الصلب أطرى وأسهل في التشغيل ، وبالنسبة لأنواع الصلب ذات نسب الكربون القليلة والمتوسطة (أقل من 0,5%) لن يحسن التخمير التام خاصية التشغيل بالقطع فهذه الأنواع من الصلب يمكن أن تصبح « طرية جداً » وتتصحن « على من آلة القطع » ورغم ذلك فالتخمير التام مجد لأنواع الصلب قليلة الكربون إذا كانت متشكل بالدرفلتاني ، السحب ، البق . الخ . على البارد .

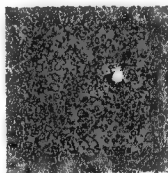
ويمكن أن تخمر هذه الأنواع من الصلب تخميراً تاماً بما فيه الكفاية غطظها لمدة طويلة عند درجات حرارة تحت نقطة  $A_4$  مباشرة وبذلك تأخذ بالوراء ألفا حسب قدرتها على الإذابة (0,02%) كيات صغيرة من الكربون وتطرد لها ثانية للخارج وراقات الكريد تتحلل نتيجة التسخين الكافي الطويل الأمد

(ساعات عديدة) تدريجياً إلى قطع صغيرة تتكور بالتالى - تحت تأثير الشد السطحي - إلى كريات صغيرة .



500:1

شكل (٧٨) برليت رقائق .

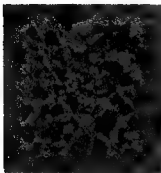


500 : 1

شكل (٧٩) برليت حبيبي .

مثال ( ٣ ) المراجعة حسب DIN 17014 للتسخين حتى درجة حرارة أعلى قليلاً من  $A_0$  ( في الصلب فوق الأوستنيتي فوق  $A_1$  ) ينتج ذلك تبريد في جو هادئ . نتيجة هذه المعاملة الحرارية يستفاد من التحول من  $\delta$  إلى  $\alpha$  وكثافة تختار قطعة من الصلب المصبوب تحوى 0.4% كربون .

حييات المحلول الصلب  $\delta$  في الصلب المصبوب كثيراً ما تنمو إلى حييات كبيرة والكربون الكسول عن الانتشار لن يجد الكفاية في الوقت المتاح له غالباً عند التحول من  $\delta$  إلى  $\alpha$  ليرجع نفس الطريق لبناء التركيب الداخل القرني البرليتي المعادي وميركز نفسه لذلك في مواضع كثيرة داخل بلورات الأوستنيت الكبيرة إلى جزر ذات تركيز أوستنيتي



100 : 1

شكل ( ٨١ ) صلب مصبوب  
معامل حراري .



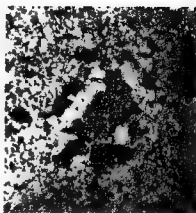
100 : 1

شكل ( ٨٠ ) صلب مصبوب  
معامل حراري ( تكوين  
فيلمان ) .

وأثناء ذلك يبقى القرني نفسه مضطرب في مستويات مفضلة داخل حييات الأوستنيت وبعد التحول يكون للصلب ما يسمى « تكوين فيلمان » ( شكل ٨٠ ) وتكوين فيلمان يمكن تجنبه بواسطة تبريد بطيء خاص مما قد يؤدي إلى تكوين حييات أكبر وخواص القوة الضعيفة للتركيب كبير الحبيبات يمكن تخفيفها في وجود تكوين فيلمان لأنها تؤدي إلى توزيع أكثر انتظاماً للقرني والبرليت .

والعلاقة بين تكوين فيلمان وحجم الحبيبات يرى بوضوح في الشكل ( ٨٢ ) حيث كان يوجئ قبل التحول أوستنيت مختلف حجم الحبيبات وعند التحول نشأت من الحبيبات الصغيرة حييات عادية من القرني والبرليت بينما الحبيبات الكبيرة قسمت إلى تكوين فيلمان .

والحيات الكيرة غالباً غير مرغوب لها سواء مع أو بدون تكوين ليمان للورقنا درجة حرارة صلب ذي تركيب داخل كير الحيات لسوف تنشأ بلورات الأوستنيت الأول عند غطي درجة حرارة  $A_1$  ( $723^{\circ}\text{C}$ ) وما يحدث بزيادة كمية الحرارة يمكن مقارنته بعملية إعادة التبلور بعد التشكيل على البارد لقط فإنه بالنسبة لكون الحديد يتبلور في عدة صور بلورية بالنظام ليس هناك حاجة للتشكيل على البارد لإيجاد حافز لتكوين البلورات جديدة . وستكون بلورات أوستنيت في كل مكان تتجاوز له بلورات الفريت والسمنتيت ونوايات التبلور موجودة بوفرة وإذا نحتت المنة ببطء بين  $A_1$  ، و  $A_2$  ستتشأ بلورات أوستنيت جديدة قليلة تنمو باضطراب وتلقى على التركيب القديم ، وإذا



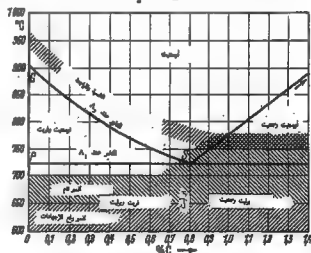
50:1

شكل (٨٢) صلب مصبوب ذو حبيبات مختلفة الحجم تكوين ليمان في الحيات الكيرة فقط

رقتنا درجة الحرارة بسرعة خلال هذه المنطقة ( $A_1 - A_2$ ) لنستشأ بلورات لا صغيرة في مواضع كثيرة سرعان ما تترامح بعضها وعلى ذلك فالمرط لتكوين تركيب داخل دقيق الحيات في عملية المراجعة هوسخن المنة السريع خلال منطقة التصلب وإذا تركنا المنة في منطقة لا مدة أطول من اللازم حدوث التطير (زيادة الزمن) سيجعل الحيات الأوستنيتية التي تكونت من جديد بعضها وتنمو البلورات الأكثر ثباتاً على حساب جاراتها (نور الحيات) ولذلك يجب الحرص على ألا تبقى المنة في عملية المراجعة مدة طويلة في التسخين . ونور الحيات لا يساعد فقط بزيادة زمن التسخين أي بالبقاء مدة أطول عند درجة الحرارة الصعيمة ، بل أيضاً إذا زادت درجة الحرارة يعني إبقاء المنة لوقت قصير عند درجات حرارة أعلى من اللازم . ولتجنب التسخين الزائد من الحد تسخن المنة بقدر بسيط ( $20-30^{\circ}\text{C}$ ) فوق نقطة  $A_2$  والتبريد ببطء شديد (زيادة الزمن) في الفرن متروكي هي الأخرى إلى المساعدة على تكوين حبيبات كبيرة .

وبعد ماتحت دراسته حتى الآن يجب في عملية مراجعة الصلب التسخين بسرعة وبقدر بسيط فوق نقطة

$A_2$  ، وتركها عند هذه الدرجة وقتاً قصيراً وبعدها تبرد تبريداً ليس بطيئاً أكثر من اللازم (في الهواء) للحصول على تركيب داخل دقيق الحيات كما في (شكل ٨١) نتيجة غطي المنطقة بين  $A_2$  ، و  $A_1$  مرتين وبالتالي تتغير الحيات مرتين وقد تكفي هذه المعاملة لقطع الصلب البسيطة الخفلة لأن تنسيق وتجانس الحيات سيحدث بهذه الطريقة أما بالنسبة لقطع ذات الأشكال المعقدة فقد تنشأ إجهادات داخلية



شكل (٨٣) الجزء المهم بالنسبة للمعاملات الحرارية من شكل إتران سبالك الحديد مع الكربون .

نتيجة التسخين والتبريد السريع وفي مثل هذه الأحوال تربط عملية تخمير رفع الاجتهادات بعملية المراجعة وتجري المعاملة الحرارية على النحو التالي :

- ١ - التسخين البطيء حتى تحت نقطة  $A_1$  بقليل (حوالي  $680^{\circ}\text{C}$ ) .
- ٢ - تسخين شديد للوصول بالقطعة بسرعة في منطقة ٤ .
- ٣ - عدم ترك القطعة في المنطقة فوق  $A_2$  مدة أطول من اللازم للتحويل التام (١ - ٢ دقيقة لكل مم من سمك القطعة على أية حال ليس أقل من ٢٠ دقيقة) .
- ٤ - تبريد في الهواء حتى  $680^{\circ}\text{C}$  .
- ٥ - وفي النهاية تبريد بطيء في الفرن .

أما الصلب فوق الأوستنيت فلا يسخن حتى منطقة ٤ في المعاملات الحرارية حتى لا تتكون عند التبريد شبكة السمنتيت الضيقة الضارة وبالنسبة لهذه الأنواع من الصلب فإنه لتشكيلها في الصناعة وتركيب مبدئي للتفتيش فإن التسخين حتى فوق  $A_2$  هو الأنسب وعند التفتيش تعامل هذه الأنواع من الصلب مثل معاملة الصلب الأوستنيتي والسمنتيت الزائد عن الحد في هذه الحالة سيتوزع على شكل كريات صغيرة في المارتنزيت بانتظام .

ومدى درجات الحرارة للمعاملات الحرارية للصلب التي سبق وصفها موضحة في (شكل ٨٣) في المقطع المبسط لشكل إتران سبالك الحديد مع الكربون .

## ١٢ - البابينيت في الصلب

لم تذكر هذه الصورة من التركيب الداخلي للصلب حتى الآن منشأها لا يمكن التعرض له ضمن شكل إتران سبالك الحديد والصلب .

وينشأ البابينيت خالصاً إذا برد الصلب من منطقة ٤ بسرعة إلى درجة معينة تحت  $A_1$  ( $723^{\circ}\text{C}$ ) وترك عند هذه الدرجة حتى يتغير تركيب الأوستنيت - المبرد أكثر من اللازم تماماً . ولتصوير ترتيب هذا التغير عند درجة حرارة ثابتة (محول أيزو ثرمي) (١) فإن منحنيات تغير التركيب مع درجات الحرارة والزمن قد رسمت لأنواع الصلب المستعملة ومن هذه المنحنيات يمكن معرفة أي تركيب داخلي ينشأ عند أية درجة حرارة عندما يتغير تركيب الصلب عند درجة حرارة ثابتة .

فاوستنيت الصلب (٢) C45 يتغير حسب (شكل ٨٤) عند حوالي  $530^{\circ}\text{C}$  إلى فريت وبرليت حيث

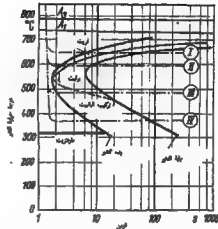
(١) من اليونانية ISOS = متساوي أو ثابت ، حرارة = Thermos

(٢) صلب مقسى ومطعم بحوى ٠.٤٥% كربون .

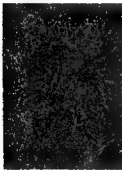
يشكون البيرليت في خطوط رفيعة ويقل تكون الفريت باستمرار كلما زاد تبريد الأوستنيت عن اللازم وتقع مرحلة أو مجال تكون البايينيت بين مرحلة البيرليت هسله ودرجة الحرارة التي ينشأ عنها المارتنزيت (حوالي 300°C).

و (شكل ٨٨) بين التركيب الداخلي تحت المهر لعينة من هذا الصلب بردت من منطقة الأوستنيت في حمام ملح منصهر حتى 370°C وحفظت عند هذه الدرجة حتى تم التغير تماماً حسب الشكل (٨٤) لمدة ٩٠ ثانية وللتأكد لمدة ٢٠٠ ثانية. والتركيب الداخلي الناتج ليرى ، ويشبه ذلك التركيب الناتج لو أجريت للصلب المذكور عملية تقسية متبوعة بعملية تطبيع والفرق أن التركيب الداخلي في هذه الحالة نشأ مباشرة من الأوستنيت ، وليس عن طريق غير مباشر وهو تحول الأوستنيت أولاً إلى مارتنزيت . وامكانية الانتشار للذرات الحديد أقل من امكانيات ذرات الكربون الأصغر حجماً .

ويمكن للكربون أن ينتشر ويكون كريدبات في درجة حرارة البايينيت وانتشار ذرات الهيكلي البلوري الأصلية يصبح عندئذ غير ممكن . والتحول عند تكوين البايينيت يتيح لتغير الهيكلي البلوري المكعب ذي الذرة في متصفات الأوجه للأوستنيت إلى هيكلي بلوري مشوه للفريت من المكعب ذي الذرة في المركز حيث يفصل في نفس الوقت من كل الأوستنيت والفريت فوق المشيع الحديث التكوين .



شكل (٨٤) منحنى لتغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند درجة حرارة ثابتة لصلب يحوي 0.45% كربون دون إضافة أية عناصر أخرى ، احداث دجة الحرارة مقسم عاى ، احداث الزمن مقسم لوطاديتى (١) .



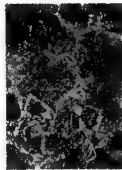
400:1

شكل (٨٨) الحصول حسب المنحنى IV باينيت من المنطقة السفلى .



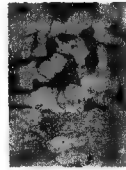
400:1

شكل (٨٧) الحصول حسب المنحنى III باينيت من المنطقة الأعلى دقيق الخطوط جداً .



400:1

شكل (٨٦) الحصول حسب المنحنى II قليل - من الفريت وكثير من البيرليت الدقيق الخطوط .



400:1

شكل (٨٥) الحصول حسب المنحنى I أجزاء متساوية من الفريت والبيرليت العريض الخطوط .

(١) رسم بالاعتماد على التغير وشرح أ . روزا ، ف . بيتر .

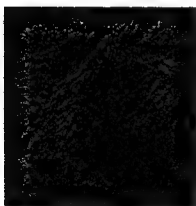


الأشكال من (٨٥ حتى ٨٨) تركيب داخل مجهري لعينات من صلب C45 تقيوت حسب المنحنيات من I إلى IV عند درجة حرارة ثابتة حسب الشكل (٤٨) جزينات دقيقة من الكريد ترص نفسها في صفوف حسب التركيب للأوستنيت وهذا ما يسبب الشكل الإبري الباهيت (١) ونتيجة لخروج الكربون من التركيب الداحل للأوستنيت تسهل عملية تغير الهيكل البلوري (٢) بحيث تستمر عملية التغير هذه كلما زاد انفصال الكريد ، وبذلك تصبح عملية تكوين الباهيت عملية مرتبطة بالانتشار عكس تكوين المارتزيت الذي يتكون فجأة ودون انتشار .

والفرق بين المارتزيت والباهيت يوضحه الشكلان (٨٩) ، (٩٠) المصورين تحت المجهز الإلكتروني بتكبير شديد جداً .

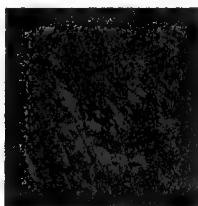
وحسب ما إذا كان التغير في مجال الباهيت في (الشكل ٨٤) حدث عند درجات حرارة أعلى أو أقل يميز بين باهيت من المنطقة الأمل ويتصل فيه حبيبات كريد أكبر أو باهيت من المنطقة السفلى وفيه ترسيبات الكريد دقيقة جداً .

أنواع الصلب الغير مضاف إليها عناصر أخرى لها زمن بدء قصير عند التحول في درجات الحرارة الثابتة وعطورات التحول تبدأ وتستمر بسرعة حتى إن القطع السمكة تتحول جزئياً أو كلياً إلى البرليت قبل أن تصل درجة حرارتها إلى درجة الحرارة اللازمة لتكوين الباهيت وتكوين حاصل الباهيت يمكن أن ينشأ بالنسبة لهذه الأنواع من الصلب في القطع ذات السمك الصغير .



9000:1

شكل (٩٠) صلب C45 متحول من درجة التقيية عند درجة حرارة ثابتة 400°C باهيت .



9000:1

شكل (٨٩) صلب C45 من درجة حرارة التقيية متى في الماء مارتزيت .

1. Schrader, A. und Rose, A. De Ferri Metallographia II, Düsseldorf : Verlag Stahleisen 1966.
2. Eckstein, H. J. : Wärmebehandlung von Stahl, Leipzig : VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1969.

وأشكال الصلب التي تتعرض بجانب الكربون على عناصر أخرى يتكون الباييت بكمية أكبر و زمن البدء أطول والتحول يبدأ متأخراً ويستمر ببطء ، ولذلك فمن الأسهل أن يبرد الأوستنيت إلى درجة حرارة التحول إلى الباييت وبذلك يصبح امتصاص الطاقة والتطبع من طريق الباييت ممكناً عملياً ، ونحتاج من الطاقة والتطبع بقليل الخطورة التي قد تنجم من التطاق الصلب وتشققه حيث أن القطع لا يبرد بسرعة كبيرة وأيضاً عندما يبرد الصلب باستمرار وخاصة في الصلب للصلب إلى عناصر سبك فإنه تتواجد بعض الوقت شروط لتكون الباييت وأيضاً هذه الأحوال وسعت متحنيات تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر تختلف من تلك بالتبريد في درجة حرارة ثابتة بعض الشيء .

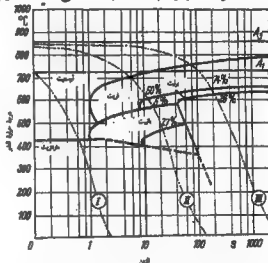
ومتحنيات تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر مهمة للمشغل بالحمام ، حيث أن الصلب المسخن لدرجة عالية بجانب تلويز الحمام يبرد تبريداً مستمراً .

ومتحنيات التبريد (I, II, III) في منحنى تغير التركيب مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر (١)

لصلب خلايايت تتعرض على منحنى بسيط لصلب (19Mn5) (شكل ٩١) تبين أنه بالتبريد السريع حسب المنحنى I ينشأ مارتنزيت بجانب تلويز الحمام وهذا يمكن أن ينشأ دون قصد عند لحام أجزاء صغيرة من قطع كبيرة في الإصلاحات مثلاً .

وبالتبريد الأبطأ من ذلك حسب المنحنى رقم II يتحول الأوستنيت بالتوالي إلى 50% فريت ، 5% برليت ، 27% باييت وينشأ من الـ 18% الأوستنيت الباقية باستمرار التبريد مارتنزيت وإذا أراد الإنسان تحاشي الباييت والمارتنزيت فطليه أن يراعى أن يكون منحنى التبريد يقع إلى اليمين أكثر في الشكل ويمكن الوصول إلى ذلك بتسخين الصلب والاحتفاظ به

ساعاتاً أثناء الحمام (الحمام مع تسخين أول) وبهذا يقل الفرق في درجة الحرارة بين المنطقة التي ارتفعت درجة حرارتها بجانب تلويز الحمام وبين بقية القطعة وإذا بردت المنطقة المعرضة لخطر بسرعة أبطأ كما في المنحنى رقم III ، حيث ينشأ فريت 74% ، برليت 26% وفي نشرة هيئة التوحيد القياسي الألمانية



شكل (٩١) منحنى التغير مع درجة الحرارة

وإزمن عند التبريد المستمر لصلب الخلايايت 19Mn5 والأرقام عند تقاطع متحنيات التبريد مع الخطوط المحددة لمنطق الشكل تبين النسبة المئوية للأوستنيت المتبقى عند حدود المنطقة .

1) Müller R. : Anwendung von ZTU-Schaubildern in der Schweißpraxis. Schweißen und Schneiden 12 (1960) H. 7, S. 309-317.

DIN 17155 يشترط التسخين لدرجة 200°C قبل حمام الصلب 19Mn5 والاحتفاظ بالقطعة التي سيجرى عليها الحمام طول مدة الحمام عند هذه الدرجة .

وترسم منحنيات التغير مع درجة الحرارة والزمن أساساً لدرجات حرارة وزمن الأوستنيت التي لها أهمية للمعاملات الحرارية العادية للصلب. ويجوز تلديز الحمام مباشرة لأن الصلب يسخن إلى قرب درجة حرار الانصهار ويكون لمدة قصيرة في منطقة الأوستنيت ، ولذلك فإن خطوط المنحنى تتجه ناحية اليمين إلى زمن أطول بمعنى أنه من الممكن أن ينشأ ما تفرزت حيث أنه حسب منحني الإتران العادي غير ممكن . وفوق ذلك فيفسر المنحنى لنوع الصلب الذي رسم من أجله فقط والرواحات في التركيب الكيماوي المسموح بها في أنواع الصلب تغير مجرى المنحنى التغير. ولذلك فمن المستحسن في عمليات الحمام اختيار درجة حرارة مرتفعة شيئاً ما والاحتفاظ بالقطعة مدة أطول مما هو موجود في المنحنى (١).

### ١٣ - شكل الإتران الحليد مع كريد الحليد

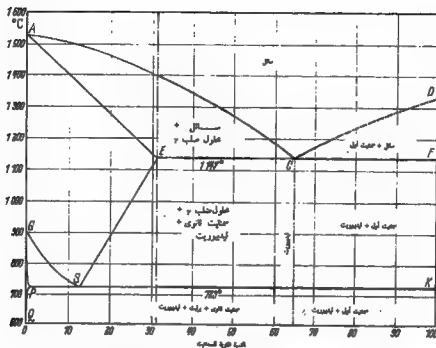
من الشرح السابق لسبائك الحليد مع الكربون حتى نسبة 2.06% كربون، ذكر جزء من الشكل الجزئي لإتران الحليد مع الكربون. و (الشكل ٩٢) بين سبائك الحليد مع الكربون حتى 6.67% كربون ونسبة الكربون هذه تعادل تركيب المركب البيني، كريد الحليد .

كما هو معروف تقسم مثل هذه المركبات البينية أشكال الإتران إلى أجزاء . والشكل الجزئي لسبائك الحليد مع الكربون حتى 6.67% كربون أي ما يعادل 100% كريد الحليد، هو شكل إتران كامل لسبائك الحليد مع كريد الحليد ، (السميت) .

والسبائك في الجانب الآخر من المركب البيني بأكثر من 6.67% كربون لم تبحث بسبب صعوبة شروط التجارب بزيادة نسبة الكربون . وهذه السبائك ليست مهمة بالنسبة للمواضع المذكورة في هذا الكتاب لأنه بزيادة نسبة الكربون تخفى بالتدرج للصفة القلوية للسبائك .

وجانب الصلب في شكل الإتران (حتى 2.06% كربون ما يعادل 31% كريد حليد) معروف لدينا ولذا سيشار إليه فقط في (شكل ٩٢) ولذلك سيشرح جانب الحليد الأخر من الشكل الموجود بين 2.06% ، 6.67% وسيوجد شكل أوستيكتيكي أمانا ثانية والأوستيكتك المكون من بلورات المحلول الصلب  $\delta$  وكريد الحليد يسمى ليديوديت (على اسم العلامة . أ ليديور) وعلى يسار نقطة الأوستيكتك تتكون بلورات محلول صلب  $\delta$  أولية ، بينما يتفصل على عينا كريد حديد أول (سميت) يظهر في التركيب الداخلى كمروق سمكة ويسمى لللك عروق السميت وجميع التراكيب تحت الأوستيكتيكية ، والأوستيكتيكية وفوق الأوستيكتيكية تتغير تحت خط الأوستيكتك ECF وعدم قلرة بلورات المحلول الصلب  $\delta$  على إذابة الكربون بانخفاض درجة الحرارة (من 2.06% عند 1147° إلى 0.8% عند 723°) له تأثيره أيضاً بانخفاض درجة الحرارة تطرد بلورات المحلول الصلب  $\delta$  سواء المنفصلة أولاً أو مع الأوستيكتك - تطرد كربونا على شكل كريد الحليد الذي يتجمع على

1) Mäller R. : Anwendung von ZTU-Tschaubildern in der Schweißpraxis. Schweißen und Schneiden 12 (1960) H. 7, S.309-317.



شكل (٩٢) شكل ايزان سبيكة الحديد مع كربيد الحديد (السمتيت  $Fe_3C$ )  
 100% كربيد حديد تساوي نسبة 6.67% كربون في السبيكة

السمتيت الموجود من قبل (١) وتمت الخط SK فإن بلورات المحلول الصلب  $\delta$  غير ثابتة وتتحلل إلى بيرليت وعند درجة حرارة الجو العادية ترى التراكيب الداخلية الموجودة في الأشكال (٩٣ حتى ٩٥).

وسبائك الحديد مع كربيد

الحديد هذه تختلف خواصها

إختلافاً بينا عن خواص

الصلب. فبسبب نسبة السمتيت

العالية فيها فهي قصفة ويسبب

الليديريت الذي يتصلب عند

$1137^{\circ}C$  فهي غير قابلة

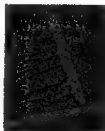
للسحب والطرق. وميزة هذه

السبيكة هي قابليتها الجيدة

للسحب لانخفاض درجة حرارة

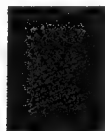
انصهارها بالنسبة للصلب وقد رتبنا

على مل' القواب .



100 : 1

شكل (٩٥) فوق  
 الأوستيكتي سمتيت  
 أول مع ليديريت.



100 : 1

شكل (٩٤) أوستيكتي  
 ليديريت .



100 : 1

شكل (٩٣) تحت  
 الأوستيكتي بيرليت  
 سمتيت ثانوي .

الأشكال ٩٣ - ٩٥ تركيب داخل تحت المهر لسبائك الحديد  
 مع كربيد الحديد بين 2.06% كربون ، 6.67% كربون .

(١) لا يذكر السمتيت المنفصل من بلورات المحلول الصلب  $\delta$  الموجودة في ليديريت الأوستيكتي  
 وترامى حقيقة أن بلورات المحلول الصلب  $\delta$  الموجودة في الأوستيكتي تتغير بالبريد وهي في الحالة الأصلية  
 بأن يقال ليديريت I (عند  $1143^{\circ}C$ ) وليديريت II أو ليديريت متحلل (تحت  $723^{\circ}C$ ) .

وبسبب مكسر المقطع الزهر من سبائك الحديد مع كريد الحديد العالية نسبة الكربون الذى يظهر فاتحاً بالنسبة لوجود السميت الأبيض بكثرة، يسمى الزهر الأبيض. وبسبب الصلادة غير العادية للسميت فإن حديد الزهر الأبيض صلد جداً وقصيف وصعب التشغيل والزهر المتجمد كزهر أبيض بالكامل يستعمل لهذا السبب كخطوة أولى لإنتاج الحديد المطاوع Chilled Cast Iron, Malleable Cast Iron.

## ١٤ - شكل الاتزان الحديد مع الجرافيت

كريد الحديد غير ثابت ويتحلل عند درجات الحرارة العالية إذا وجد الوقت لذلك ، إذا ترك يبرد ببطء ، إلى عناصره وهى الكربون والحديد أو لا يتكون الكريد على الإطلاق فينفصل الكربون في صورة جرافيت متبلور مباشرة دون المرور بمرحلة الكريد .

وعليه فإن التبريد البطيء يساعد على انفصال الجرافيت والتبريد السريع على تكوين كريد الحديد . والجرافيت يكون رقائق غير منتظمة تظهر بعد تحضير العينة المصقولة كرقائق مختلفة المقطع في التركيب الداخلى . والجرافيت الداكن يظهر المقطع داكناً . والحديد الزهر الذى غالباً ما يظهر الكربون فيه على شكل جرافيت يسمى الحديد الزهر الرمادى ( الزهر الرمادى ) .

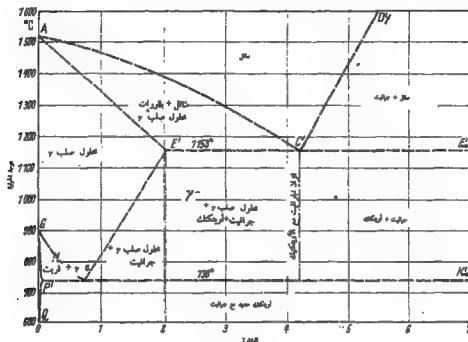
وتجمد الحديد الزهر على نظام كريد الحديد أو الجرافيت يمكن التأثير عليه عن طريق عناصر سبائك أخرى . فالسيليكون يؤدى إلى « تجمد رمادى » والمنجنيز إلى « تجمد أبيض » .

وفي سبائك الحديد مع الكربون التى تتجمد حسب نظام الجرافيت تتغير أوضاع غطوط شكل الاتزان ( شكل ٩٦ ) ونقط الشكل التى تتواجد عند التجمد الرمادى ستوضح بشرطة فوق الحرف عند نقطة طالما اختلقت من النقطة الموجودة في شكل اتزان الحديد مع كريد الحديد .

وسبائك الحديد مع الكربون التى تحوى نسبة كربون قليلة تتجمد عادة حتى بالتبريد البطيء على نظام كريد الحديد ( الصلب ) . ومسار الخطوط في نظام التجمد الرمادى في منطقة نسب الكربون القليلة لم يتضح تماماً، كذلك فإن السبائك التى تزيد نسبة الكربون فيها عن ٠.٨% لم تبحث بعد لكبر صعوبات التجارب والأهمام المحدود بها في الحياة العملية .

وأويتكتك الحديد مع الجرافيت يتجمد عند  $1153^{\circ}\text{C}$  وتركيز ٤.٢٥% كربون ( نقطة C' ) ونقطة B في هذه الحالة B تحركت حتى تركيز ٢.٠٣% كربون. والسبائك تحت الأويتكتيكية بين ٢.٠٣% كربون ، ٤.٢٥% كربون التى تتجمد حسب نظام الجرافيت يتفصل منها أولاً بلورات محلول صلب من السيكة السائلة. وعند درجة حرارة الأويتكتك  $1153^{\circ}\text{C}$  تتجمد بقية السيكة السائلة إلى أويتكتك من بلورات المحلول الصلب B وجرافيت ومن بلورات المحلول الصلب B الأولية وبلورات المحلول الصلب B من الأويتكتك، يتفصل تحت درجة حرارة الأويتكتك جرافيت ( جرافيت

ثانوى) لعدم قدرة المحلول الصلب  $\delta$  على إذابة الكربون ويتبلور هذا الجرافيت الثانوى على رقائق جرافيت الأويتكتك وتحت الخط  $P'S'K'$   $738^{\circ}\text{C}$  تتحلل بلورات المحلول الصلب  $\delta$  إلى قل الكربون فيها حتى وصل 0.69% إلى فريت وجرافيت وبلورات المحلول الصلب  $\delta$  المتحللة هذه وجب أن تكون أويتكتويد يشابه أويتكتويد الحديد مع كربيد الحديد (البرليت) ولكن مثل هذه البلورات لا تكون لأن الجرافيت الثانى عن التحلل لبلورات المحلول الصلب  $\delta$  يتبلور على رقائق الجرافيت الموجودة من قبل (جرافيت الأويتكتك والجرافيت الثانوى) .



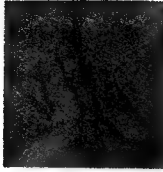
شكل (٩٩) شكل إيزان الحديد مع الجرافيت .

ولكني تواجه هذه الحقيقة ، وحتى لا يصبح شكل إيزان الحديد مع الجرافيت بعيداً عن الواقع ، لم ترسم أجزاء منفصلة للحالات الموجودة تحت الخط  $P'S'K'$   $738^{\circ}\text{C}$  في (شكل ٩٩) .

والسبائك الأويتكتيكية تتجمد (عند 4.25% كربون) - دون انفصال بلورات أولية - مباشرة إلى محلول صلب  $\delta$  وجرافيت ، ومن بلورات المحلول الصلب يتفصل أثناء التبريد جرافيت ثانوى ويتحلل تحت  $738^{\circ}\text{C}$  .

والسبائك فوق الأويتكتيكية تبدأ التجمد بانفصال الجرافيت الذى يجد الوقت والفرصة لينمو إلى رقائق كبيرة تخلف في تكوينها الأسفنجى الكبير (١) عن الجرافيت الدقيق المتفصل من بقية السبيكة السائلة مع الأويتكتك ، (شكل ٩٧) وبلورات المحلول الصلب في الأويتكتك يحدث لها نفس انفصال الكربون والتحلل كما وصف من قبل .

(١) الجرافيت الأول للتفصل وزنه النوعى أقل بكثير من السبيكة السائلة ولذا يتلفر على السطح حيث يصمم على شكل أسفنجى .



100 : 1

شكل ( ٩٨ ) حديد زهر  
ومادى فى وسط برلىنى .



100 : 1

شكل ( ٩٧ ) الجرافيت  
الاسفنجى والأوبىكتيكي (غير  
منشفة) .

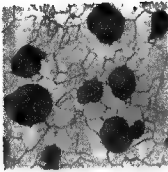
وخطوات التجمد حسب نظام الجرافيت بطيئة ، وعملياً تبدأ مثل هذه السبائك رمادية فى التجمد ثم تتبع بعد ذلك نظام الحديد مع كريد الحديد . والتركيب الداخلى للحديد الزهر الرمادى يظهر غالباً كما فى الشكل ( ٩٨ ) حيث تظهر رقائق الجرافيت التى انفصلت أولاً حسب نظام الجرافيت فى وسط برلىنى أو فريى برلىنى مشابه لتركيب الصلب وتخترق رقائق الجرافيت الوسط المشابه لتركيب الصلب مسببة إضعافاً شديداً لقوته .

ويمكن عن طريق حقن السيكة المنصهرة بالماغنسيوم أن يتطور الجرافيت فى كريات صغيرة بدلاً من الرقائق ، والكريات لا تفصل التركيب الداخلى عن بعض مثل الرقائق فى الصلب الرمادى وقد وجد أن فى الحديد الزهر ذى كريات الجرافيت (١) مادة تكاد صفاتها تقارب صفات الصلب ولكنها سهلة الصب .

والحديد الزهر ذو رقائق الجرافيت له أهميته رغمًا عن ذلك ، ومن الطبيعى أنه من الأوفر استعمال الحديد الزهر الرخيص حيث أن تستغل صفات القوة الجيدة للحديد الزهر ذى الجرافيت الكروى . وفوق ذلك فلحديد الزهر ذى رقائق الجرافيت أفضلية بالنسبة لسعة المضادة وخواص القطع .

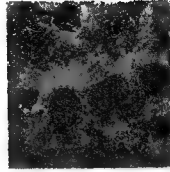
وإذا كان المطلوب أن يكون الوسط الغالب فى حديد الزهر ذى الجرافيت الكروى طرياً فيمكن تخميره لوقت طويل بالقرب من نقطة  $A_1$  ، وبذلك تتحلل رقائق الكريد الموجودة فى البرليت . والكربون الحر الناتج سيترسب على كريات الجرافيت ويصبح الوسط الغالب فريى وبذلك يكون أطرى وأكثر مرونة .

( ١ ) يسمى حديد زهر ذو جرافيت كروى وكلمة Sphaeroguss هى اسم الماركة A.G. المسجلة التى تنتج شركة جرافيت Metallgesellschaft تحتها حديد زهر ذا جرافيت كروى بصريح خاص من شركة The Mond Nickel Company Ltd .



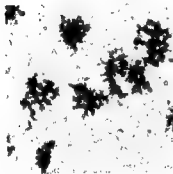
100 : 1

شكل (١٠٠) حديد زهر  
عمر ذو جرافيت كروي .



100 : 1

شكل (٩٩) حديد زهر ذو  
جرافيت كروي في وسط برلين



100 : 1

شكل (١٠٢) حديد زهر  
طروق أسود . لحم مطيع في  
وسط ليرلي .

وشكل (١٠٠) بين التركيب الداخلي تحت المهر لحديد زهر ذي جرافيت كروي فيه ليرلي نقي نتيجة للتخمير الطويل ، وهذه البنية أنشئت من قطعة أجريت عليها تجربة الى البنية في (شكل ١٠١) والبينة من قطعة مسطحة لويت من الطرفين في الاتجاه من مرات عديدة دون أن تنكسر . ويمكن الوصول إلى عملية تكرير مشابهة للكربون عن طريق



1 : 2

شكل (١٠١) حبة لي من حديد زهر عمر ذي  
جرافيت كروي .

التطبيع ، حيث تصب قطع الزهر عمداً صلباً أبيض (بحيث يتكون الكرييد) وتخمر (تطبيع) بعد ذلك حسب سمك القطعة حتى ٦٠ ساعة . والحديد الزهر الطروق الأسود ينشأ بتخمير كتل الزهر الخام في جو غاز شامل ليعمها من الهواء المادى عند درجة حرارة  $900^{\circ}\text{C}$  ، ويتحلل كريد الحديد عندئذ تماماً ، والكربون الحر الناتج يكرر نفسه إلى كريات فحم مطيع (ليس تخمر لإزالة كربون) . وكما يظهر في (شكل ١٠٢) ينتج عن ذلك تركيب داخلي يشابه تركيب الحديد الزهر ذي الجرافيت الكروي . والمكسر الداكن الناتج عن وجود الفحم المطيع أعطى الزهر اسم الحديد الزهر الطروق الأسود . والحديد الزهر الطروق الأبيض ينتج بتخمير كتل الحديد الزهر الخام عند حوالي  $1000^{\circ}\text{C}$  في جو مزيل للكربون (غاز موكسد) . ولذلك فإن الفحم الحر الناتج عن تحلل الكريد في منطقة السطح سيزال من هذه المنطقة (تخمير لإزالة كربون) بينما ينشأ داخل القطعة تركيب داخلي غطط عبارة عن فحم



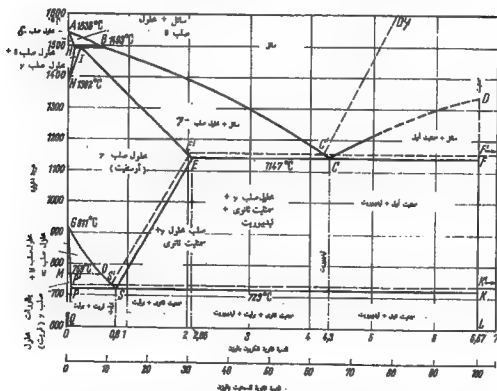
مطعم وفريت وبرليت . والقطع القليلة السمك سيزال منها الكربون بدرجة أن تصبح في النهاية ذات تركيب فريت خالص .

## ١٥ - شكل اتران الحديد مع الكربون

إذا جمعت الأجزاء المتصلة السابق شرحها من أجزاء شكل اتران سبائك الحديد مع الكربون يظهر شكل اتران سبائك الحديد مع الكربون كاملاً (شكل ١٠٣) ولتقييمه تستعمل المعلومات التي شرحت حتى الآن .

ولما كان التركيب الداخلي المكون من الحديد والجرافيت هو ألبت صور سبائك الحديد مع الكربون لذلك سمى نظام الجرافيت النظام الثابت (خطوط متقطعة .....). والسبائك بين الحديد وكربيد الحديد الأقل ثباتاً سميت النظام الغير ثابت ، وتصور بخطوط متصلة واضحة لأنها خصوصاً بالنسبة لجزء الصلب أكثر أهمية في الصناعة ولتفس السبب فإنه في هذا الجزء من الشكل في أقسامه المختلفة تذكر صور التراكيب الداخلية في النظام الغير ثابت فقط .

ومن الشكل الكامل يمكن فهم صور السميتات المختلفة . والبناء الداخلي للسميت هو نفسه في كل الحالات وتوجد الاختلافات فقط في الحجم والشكل الخارجي .



شكل ( ١٠٣ ) شكل اتران سبائك الحديد مع الكربون (حسب المرحوم ف كودير ، ف . أولسن ، ه . هوكس ، ه . ج . فيستر . عمل من جديد بواسطة د . هورستان ) .

ويغصل السمنتيت الأولى مباشرة من السيكة السائلة على عین البقعة C . والسمنتيت الثانوى ينفصل فى الحالة الصلبة تحت درجة حرارة  $1147^{\circ}\text{C}$  حتى درجة حرارة  $723^{\circ}\text{C}$  على عین الخط ES من بلورات المحلول الصلب  $\delta$  . وأما السمنتيت من الدرجة الثالثة فيغصل تحت درجة حرارة  $723^{\circ}\text{C}$  من بلورات المحلول الصلب  $\alpha$  .

والخط MO عند  $769^{\circ}\text{C}$  الذى لم يذكر حتى الآن هو الحد بين الحالتين المغناطيسية وغير المغناطيسية ويسقط هذا الحد من نقطة O ويسير بطول OSK .

## ١٦ - تحول بلورات المحلول الصلب $\delta$

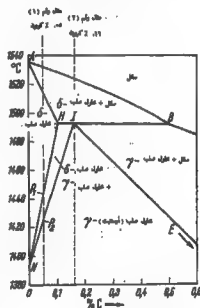
ذكر فيما سبق أن الحديد النقي فى الفصيلة  $\gamma$  ثابت حتى درجة حرارة  $1392^{\circ}\text{C}$  ثم يتحول بعد ذلك إلى بلورات الفصيلة  $\delta$  المكمية ذات اللرة فى المركز ، وتختطف هذه المكميات عن مكميات الفصيلة  $\alpha$  فقط فى أن طول ضلع مكعبها أكبر ، واتساع ضلع المكعب فى هذه الحالة يعزى إلى حاجة الذرات إلى مكان أكبر لزيادة سعة ذبذبة الذرات فى درجات الحرارة العالية .

ويكون الحديد فى الفصيلة  $\delta$  محلول صلب مع الكربون وحيث أنه مقيد ببيكل بنائه فقدتره على إذابة الكربون صغيرة وفى أحسن الأحوال يمكن للذرات الكربون أن تتداخل فى مكميات الحديد فى الفصيلة  $\delta$  عند درجة حرارة  $1493^{\circ}\text{C}$  بنسبة 0.1% .

ويمكن دراسة التحول لبلورات المحلول الصلب  $\delta$  عنطفة التركيز عن طريق منحنيات تبريدها (شكل ١٠٤) . مثال رقم (١) سيكة نحوى 0.05% كربون فوق الخط AB كلها سائلة وعندما تنخفض خط السيولة ، تبدأ بلورات المحلول الصلب  $\delta$  فى الانفصال وبعد تمام التجمد يكون التركيب الداخلى كله تحت خط التجمد AH بلورات محلول صلب  $\delta$  فقط .

والتحول من  $\delta$  إلى  $\gamma$  سيزاح إلى درجة حرارة أقل نتيجة وجود الكربون (الخط NH) . وعندما تنقطع هذه السيكة الخط NH عند النقطة  $P_1$  تتلفأ من بلورات المحلول الصلب  $\delta$  أول بلورات المحلول الصلب  $\delta$  وعند النقطة  $P_2$  يتم تحول كل بلورات المحلول الصلب  $\delta$  إلى بلورات محلول صلب  $\delta$  (أوستنيت) وتصبح فى منطقة الأوستنيت المعروفة .

مثال رقم (٢) سيكة نحوى عل 0.16% كربون : تتكون أولاً تحت الخط AB بلورات محلول صلب  $\delta$  من السيكة السائلة والخط الأبقى HB هو خط برتكيتى ، وعندما تصل السيكة السائلة إلى هذا الخط تتفاعل بلورات المحلول الصلب  $\delta$  التى تكونت حتى ذلك مع السيكة السائلة الباقية مكونة بلورات صلب  $\delta$  . وعند تركيز 0.16% كربون تصبح النسبة بين المحلول الصلب  $\delta$  المتصل من السيكة السائلة والسيكة



شكل (١٠٤) تحول بلورات المحلول الصلب

السائلة مهيمنة لدرجة أنه عند التفاعل البرتكتيكي يستهلك كل منهما ويبد التفاعل البرتكتيكي تتكون الشبكة من البلورات المحلول الصلب  $\gamma$  فقط .

مثال رقم ( ٣ ) السبائك التي بين النقطتين H ، I (من 0.1% إلى 0.16% كربون) تنوى هذه السبائك كمية من البلورات المحلول الصلب  $\delta$  أكثر مما يلزم للتفاعل البرتكتيكي ، وذلك يظهر تحت خط البرتكتيك في المنطقة NHI محلول صلب  $\delta$  إلى جانب البلورات المحلول الصلب  $\gamma$  البرتكتيكية . وتتحول البلورات المحلول الصلب  $\delta$  هذه بانخفاض درجة الحرارة إلى بلورات محلول صلب  $\gamma$  حتى إنها بعد تخطي الخط NI تختفي ويكون التركيب المتأصل هو أوستنيت خالص .

مثال رقم ( ٤ ) سبائك بين نقطة I ، B ( 0.16 إلى 0.51% كربون ) هذه السبائك تنوى شبكة سائلة بالية أكثر من اللازم لحداث التفاعل البرتكتيكي وذلك لأنه بعد التفاعل البرتكتيكي يتواجد تحت خط البرتكتيك محلول صلب  $\gamma$  وشبكة سائلة إلى جانب بعضهما ويتفصل من الشبكة السائلة ، مع استمرار التبريد ، بلورات محلول صلب  $\gamma$  حتى إنه عند الوصول إلى خط التجمد HI تتجمد كل الشبكة إلى محلول صلب  $\gamma$  (أوستنيت) .

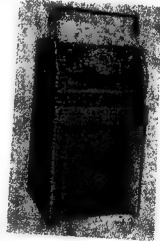
## ثالثاً : طرق الفحص المجهرى للغزات الميتالوجرافى

الصلصات التالية تتناول بعض الطرق البسيطة الشائعة الاستعمال فقط . وتجدر الإشارة إلى أن تحضير العينات لفحص المجهرى خاصة لإثبات وجود تكوين معين في التركيب الداخلى يمكن أن يكون حل جانب كبير من الصعوبة ويحتاج لكثير من الخبرة والبصيرة .

وكل التصويرات التى تبدأ بكلمة Macro في علم الفحص المجهرى للغزات ( الميتالوجرافى ) تعبر عن طرق اختيار يمكن تقييدها وإعطائها نتائجها بالفحص بالعين المجردة أو بتكبير بسيط واحد أو الماكروسكوبى . هو التكبير ١٠ : ١٠٠ وعند استعمال تكبير أكبر من ذلك يسمى ذلك فحص « ميكروسكوبى » أى مجهرى .

### ١ - تحضير العينات

يبدأ تحضير العينة للفحص المجهرى بأخذها من الجزء المراد فحصه والقطع اللينة يمكن أن تنشر . والقطع المقصودة غير مناسبة بسبب التشكيل على البارد الذى يحدث لها أثناء القص . ومن المواد القصيفة يمكن في بعض الأحيان أخذ قطعة مناسبة بالكسر ( بطريقة واحدة ) ، والمواد الصلبة يجب فصلها أو قطعها إلى الحجم المناسب بواسطة جهاز فصل أو قطع ( شكل ١٠٥ ) ( ١ ) وهنا يجب العناية بوجود التبريد الكافى حتى لا يتغير التركيب الداخلى للعينة بتأثير الحرارة الناتجة . وإذا أخذت قطعة بقطعها بالذهب القاطع يجب أن تكون كبيرة بحيث لا يتأثر بالتأكد الموضع الذى ستؤخذ منه العينة للمجهري بحرارة الذهب القاطع ويجب أن تنشر العينة المجهري من هذه القطعة .



وعند أخذ عينات للفحص بالعين المجردة أو بالتكبير البسيط لا يحتاج الإنسان للاحتياطات التى تجرى عند تحضير العينات للفحص المجهرى ، ولكن يجب الحذر خصوصاً إذا أخذت العينة عن طريق الذهب القاطع . والعينات الممكن تناولها باليد والى لا يهم فحص حروفها الخارجية يمكن تجليخها دون مسكات . ولتنع ورق السفرى وقاش التلميع من التمزق تسوى أحرف وزوايا العينة . والعينات التى تفحص حروفها الخارجية أو الصغيرة جداً ينبغي استعمال مسكات عند تجليخها وتلميعها ( شكل ١٠٦ ) أو ينبغي توسيدها ( دفنها ) في راتنج صناعى .

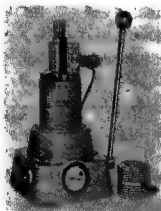
شكل ( ١٠٥ ) جهاز فصل عينات لفحص التركيب الداخلى ( برزى ف . فوياردن ) .

( ١ ) لزيادة الإيضاح يوجد في الكتاب بعض الصور كاملة لأجهزة ومعدات الفحص المجهرى لعينات وهذا لا يعنى أى تقييم لها بالمقارنة بمواها من الأجهزة المعروضة في الأسواق من إنتاج الشركات المختلفة .

ويجب أن تناسب المسامكات ومادة العينة بعضها كى يتحاشى التحميل المختلف أثناء التجليخ وتكوين العناصر أثناء التفتيش .

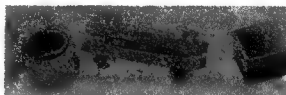
ولتسهيل مسك العينات الصغيرة جداً أو التى لا يساعد شكلها على مسكها بمسكات، أثبت الراتنج الصناعى جدارته حيث تؤسد فيه العينات فى مكبس (شكل ١٠٧) تحت الضغط والحرارة ، وهذه الطريقة تناسب العينات التى لن يتأثر تركيبها الداخلى بالتسخين حتى  $100^{\circ}\text{C}$  .

وتوجد الآن مواد تؤسد بالصّب على البارد لا تحتاج لاستعمال المكبس . ومواد التوسيد هذه يجب خلطها بعامل تصليد قبل صبا وقطع المواسر تصلح كقوالب للصّب . ويمكن أن يسحب الشكل المصبوب بسهولة من القالب ، إذا ماعدنت الجوانب الداخلية للقالب بمجينة السيليكا ( Silicopaste )



شكل (١٠٧) مكبس هيدروليكي لتوسيد العينات الصغيرة فى الراتنج الصناعى .

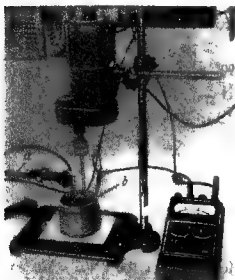
ولإظهار الحدود بمنتهى الوضوح والدقة يمكن توسيدها جلفانياً ( بالترسيب الكهربى ) وعلى سبيل المثال سيوصف التوسيد بالترسيب الكهربى فى النحاس ( شكل ١٠٩ ) .



شكل (١٠٦) عينات مسوكة ومعدة مسواة الزوايا .

إزالة الدهون بمثابة من العينة باستعمال الاثير . أولاً فى الحمام A (جندول رقم ١) ثم تكسى العينة بطبقة رقيقة من النحاس السائدى حتى تغطى العينة من تأثير حمام ترسيب النحاس B شديد الحموضة . ( جندول رقم ٢ ) .

ويجب الإلتزام بقيمة شدة التيار الحمضية (تيار مستمر) ، إذ يسبب التجاوز عنها عدم الاتصال بطبقة النحاس تماماً وتكون البراعم ،



شكل (١٠٩) ترتيب جهاز توسيد العينات بالترسيب الكهربى .



شكل (١٠٨) عينات صغيرة موصلة فى مادة توسيد شفافة من الراتنج الصناعى .

جدول رقم ( ٢ ) حمام A للتكسية بالنحاس		جدول رقم ( ١ ) الحمام A ( لطبقة الحماية السيانيدية ) (١)	
250 g	كبريتات النحاس	22.5 g	سيانيد النحاس
40 ml	حامض كبريتيك مركز	34.0 g	سيانيد الصوديوم
1000 ml	ماء	15.0 g	كربونات الصوديوم
		1000 ml	ماء
0.02-0.04 A cm <sup>2</sup>	كثافة	0.002 A cm <sup>2</sup>	كثافة
الجر العادية	درجة الحرارة	30-40°C	درجة الحرارة
العينة	المهبط	العينة	المهبط
نحاس	المصدر	نحاس	المصدر

ويحرك الحمام طول الوقت بنفسه زجاجي أو أداة تقلاب . وحمامات السيانيد المحفزة حديثاً تكون خسر نقطة في بعض الأحيان ويمكن تلطيفها بإضافة كمية قليلة من محويزات الحمام القديم وبهذه الطريقة يمكن تكسية جميع المعادن عدا الألومنيوم والمغنسيوم بالنحاس .

## ٢ - التجليل والتلميع والنميش

العينات التي قطعت ووسدت - إذا لزم الأمر - سيسوى سطحها وتبرد أو تجلخ مبدئياً على حجر الجليخ (يجب الاحتراس من تأثير الحرارة) وفي النهاية توضع على ماكينة تجليخ بورق سفرة يبدأ من رقم ١٠٠ - ١٨٠ ويتدرج إلى الدرجات الأنعم .

وعند تحضير العينات المجهريّة تدار 90° كلما غير ورق السفرة إلى درجة أنعم ولا تحرك العينة فوق قرص ماكينة التجليل ، بل تثبت في موضع واحد بضغط خفيف وهكذا تنشأ خطوط رفيعة متوازية يمكن ملاحظة اختفائها عند التجليل عمودياً عليها باستعمال درجة النعومة التالية لورق السفرة وتنظف العينة بفرشاة ناعمة كلما غير ورق السفرة إلى درجة أنعم .

وابتداء من ورق السفرة رقم ٢٢٠ يمكن استعمال اليد في التجليل مع الاحتفاظ بتغير اتجاه التجليل ، 90° كلما غيرت درجة ورق السفرة ، وفي هذه الحالة يثبت ورق السفرة على مستند خاص له أو على لوح من الزجاج ويتبع ذلك - مع تغير اتجاه السفرة وتنظيف العينة بالفرشاة تماماً رقم 320 ، 400 ، 500 ، 600 على التوالي .

(1) Kehl : The Principles of Metallographic Practice, New York : McGraw-Hill 1949.

وماكينات التجليخ باستعمال الماء (شكل ١١٠) توفر  
عملية تجليخ مريحة دون غبار وفيها يستعمل ورق سفرة  
من كريد السيليكون مقلوم للماء بأرقام 180,220 ،  
320,400,600 .



شكل (١١٠) ماكينة تجليخ  
بالماء (ك . ب جروس  
وهركام).

ويحمل الماء الجارى الغبار الناتج من التجليخ بعيداً عن  
ورق السفرة باستمرار ، ويمكن عندئذ أن يغير ورق السفرة  
دون تنظيف العينة .

وبالنسبة للعينات التي ترى بالعين المجردة أو بالتكبير البسيط لا يحتاج الإنسان إلى إدارة العينة  $90^\circ$   
عند تغيير ورق السفرة ، ويمكن أن يميل شيئاً ما على اتجاه التجليخ الأخير ، أو عند استعمال ماكينات  
التجليخ ذات الأقراص المستديرة أن يدير العينة  $180^\circ$  .

والتلميع والنش خطوتان من خطوات العمل تؤديان معاً . وأثناء التجليخ تنشأ على السطح طبقة  
تشغيل تزل بدورها بتبادل التلميع والنش حتى يظهر التركيب الداخلى الحقيق .

ويجب غسل العينة التي سفرت بورق السفرة رقم 600 جيداً بالماء قبل التلميع ، وفوق ذلك  
لن المهم جداً تنظيف الأيدي والأظفار حتى لا تحمل غبار التجليخ إلى قماش التلميع .



شكل (١١٢) ماكينة تلميع  
مائية (اولست لفتروولده) .



شكل (٢١١) ماكينة تلميع  
تركب على المنضدة ، ذاتية  
التلميع (جهان فيرنس) .

وتكسى أقراص ماكينات التلميع بالبياد والقطيطة (شكل ١١١) ويرش فوق الأقراص أوكسيد  
الألومنيوم الناعم كوسيط للتلميع . ويلمع الصلب والزرع وغيرها من عينات المواد الصلدة - مع  
إدارة العينات باستمرار - فسوق قرص البياد أما الفلزات « الأخرى » مثل النحاس والنحاس  
الأصفر . الخ . فتلومع بعد ذلك فوق القطيطة مع استعمال مسحوق أوكسيد الألومنيوم أكثر نعومة .

وغالباً ما يستعمل التلميع بأوكسيد الألومنيوم بالاشتراك مع طرق أخرى . فجميع عينات الصلب غير المسبوك والزهر المصورة في هذا الكتاب بعد تجليخها حتى ورق سفره رقم 600 لمعت بمسحون ماسي ثم لمعت بعد ذلك لفترة قصيرة بأوكسيد الألومنيوم على قرص اللباد . وجميع صور العينات الأخرى للغزرات غير الحديدية والصلب على السبيكة لمعت حتى النهاية باستعمال المسحون الماسي . والمعالجين الماسية تحمل المواد بانتظام وسرعة من سطح العينة ، ويمكن بها تحاشي تكون بعض البروزات بالنسبة للمواد التي لها مكونات تراكيب داخلية تختلف اختلافاً كبيراً في صلابتها . (شكل ١١٣) والمعالجين الماسية المستعملة في تحضير العينات للفحص المجهري تلوب في الماء ولذلك يمكن تنظيف العينة منها بسهولة ، والعناية التامة بالنظافة واجبة في كل خطوات العمل لكي لا تبقى حبيبة من الماس على قرص سيعمل بعد ذلك بحبيبات أكثر نومة .

وقبل نمش العينة يجب غسلها تحت الماء الجاري وتنظيفها بعناية مما قد يكون لاصقاً بها من مسحوق التلميع ، حتى ولو كان هذا النمش بين فترتي تلميع ، وعند استعمال محلول نمش يلوب في الماء فإنه يمكن نمش العينة المبللة فوراً . وأما إذا كان المحلول يلوب في الكحول فيجب تنظيف العينة من الماء برشها بالكحول قبل النمش ثم يغطس السطح اللامع للعينة في محلول النمش وتحرك قليلاً . وبالنسبة للمحاليل التي تؤثر على الجلد تستعمل مسكات من الصلب غير القابل للصدأ أو من النيكل . (شكل ١١٤) يصور بعض المعدات المستعملة في النمش . ويمكن حفظ العينات التي يجب الاحتفاظ بها



20 : 1

شكل (١١٣) حبيبات فلز صلد في خام طرى جلخت ولمعت بمسحون ماسي .



شكل (١١٥) مجلف لحفظ العينات المجهريّة .



شكل (١١٤) كأس نمش زجاجية ، كأس نمش من البلاستيك لمحاليل النمش المخصصة على حامل من الهيدروفلوريك ، مسكات نمش ، وشفاطة من البول أكليين .



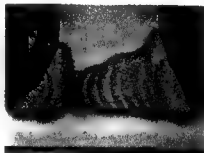
مدداً طويلة في مجفف بعيداً عن رطوبة الهواء (شكل ١١٥) مملوء جزؤه الأسفل بالسيليكا جل الطازجة التي تمتص الماء . والسيليكا جل الطازجة ذات اللون الأزرق الغامق يفتح لونها حين تمتص الماء ويمكن تجفيف السيليكا جل المستعملة وإعادة استعمالها . وتوضح العينات على لوح زجاجي مقبب ، ويجب تنظيف الجزء المسفر من غطاء المجفف ودهانه بالشحم من حين لآخر .

### ٣ - أمثلة للنمش

محلول نمش للعينات التي ترى بالعين المجردة أو بتكبير بسيط لأنواع الصلب غير المسبوك أو القليل السبك .

حامض تريك كحول
90ml كحول
10ml حامض تريك مركز

يجب عدم استعمال حامض التريك المدخن (كثافته فوق 1.4) وإلا سيحدث تفاعل شديد يمكن أن يوله أضراراً تروية . يصب الحامض في الكحول وليس العكس . وبجانب درز الحمام (شكل ١١٦) يمكن توضيح الانفصالات والتركيبات الأولية ، ثم طبقات السطوح المتقاسة واختلاف التركيب الدخيل في الحديد الزهر .



1 : 1

ويوزع المحلول على سطح العينة اللامع من دقيقة إلى خمس دقائق تفصل العينة بعدها تحت ماء جارٍ بدعكها بقطعة من القطن ، ثم ترش بالكحول وتجفف كلما أمكن في تيار من الهواء الساخن .

محلول نمش للعينات التي ترى بالعين المجردة أو بالتكبير البسيط لكل أنواع الصلب ومواد التبيكل والنحاس وسبائك النحاس .

شكل (١١٦) حمام بالقوس الكهربي لألواح صهريج HIII منشفة بمحلول 10% حامض تريك كحول .

محلول نمش أدنى
( أ ) كلوريد النحاس المشافري 3g II
ماء مقطر 25 ml
( ب ) كلوريد الحديدك 15g III
حامض هيدروكلوريك مركز 50ml

بعد أن يذيب الجميع يضاف المحلول أ إلى المحلول ب .

محلول نمش متعدد الاستعمالات لأنواع الصلب الغير مسبوكة والمسبوكة قليلاً ، وعالية السبك ومواد التبيكل والنحاس وسبائك النحاس . وبجانب درز الحمام يمكن رؤية الانفصالات والتكوينات الأولية (شكل ١١٧) .

ويترك الماء يجري فوق سطح العينات إذا كانت كبيرة قبل التمش ويوزع محلول التمش نفسه بسرعة وانتظام على سطح العينة المبلل وبذلك يمكن تجنب تكون البقع .  
ولا فإنه يكون مثل حامض النيتريك .



2 : 1

وسبائك الصلب الغير مسبوكة والمسبوكة قليلا تتأثر بمحلول أدلر أكثر كثيراً من محلول 10% حامض نريك ، وهذا التأثير يكون أحياناً واضح التباين لدرجة أن تظهر بعض الأخطاء المصطنعة ، وإذا وجب في مثل هذه العينات الحصول على صور منمنشة أوضح فيفضل استعمال محلول حامض النريك الكحول .

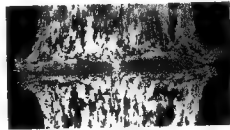
شكل ( ١١٧ ) عينة مقطع من ريشة توربين  
مصنوعة من سبب 25 Cr NiSi 189  
منمنشة بمحلول أدلر .

محلول تمش للعينات التي ترى بالعين المجردة أو بتكبير بسيط للألومنيوم وسبائك .

ماء مقطر	10ml
حامض هيدروكلوريك مركز	10ml
حامض نريك مركز	10ml
حامض هيدروفلوريك 38-40% ig	2.5ml

يجب الخلط عند استعمال حامض الهيدروفلوريك . يسل الجلد بالماء بمثابة إذا وقعت عليه لقاط من هذا الحامض ، ويحفظ المحلول في زجاجات من البلاستيك لأن حامض الهيدروفلوريك يتفاعل مع الزجاج ، ولوق ذلك يستحسن استعمال كؤوس من المطاط الصلب أو البلاستيك في عملية التمش .

وهذا المحلول يناسب توضيح زرد الخام في الألومنيوم وسبائك الألومنيوم ( شكل ١١٨ )  
وتعين حجم الحبيبات واتجاه الدفلة واتجاه الألياف .  
وتدخن أوراق السفرة بالشحم عند التجليخ على الناشف ويوضع المحلول على كل سطح العينة بعد تنظيفها من الشحم ، بحيث يكون سطحها مغلى بالمحلول ويتفاعل محلول التمش مع مادة العينة مع توليد حرارة شديدة وعندئذ يفور المحلول تنتهي عملية التمش . تجليخ العينة حتى ورق



1 : 1

شكل ( ١١٨ ) تكوين خام ألومنيوم تمش  
بمحلول تمش العينات التي ترى بالعين المجردة  
أو التكبير البسيط للألومنيوم وسبائك .

### طبعة الكبريت حسب باومان

ماء	95 ml
حامض كبريتيك مركز	5 ml

السفرة رقم 200 ولا تلمس العينة المستفرة بالأصابع وتحمى من سقوط الشوائب عليها - يفتس ورق البروم النقي (ورق التكبير للتصوير) حوالى ٥ دقائق في محلول حامض الكبريتيك ، ثم يمسح على حرف الوعاء المحتوى على المحلول ويوضع فوق العينة المستفرة بحيث يقع الوجه المكسى للورق على سطح العينة المستفر ويضغط عليها قليلا وبعد دقيقة أو دقيقتين يرفع الورق ويفسل بالماء بمناءة ، ثم يثبت لمدة ١٥ دقيقة ثم يوضع فى الماء حوالى نصف ساعة ثم يجفف .

وعند وضع الوجه المكسى من ورق البروم النقي على سطح العينة بعد تشبعه بالحامض ينتج نتيجة تفاعل الحامض مع الشوائب الكبريتيدية الدخيلة فى الصلب غاز كبريتيد الهيدروجين الذى يتداخل مع طبقة البروميد فى الورق ويتفاعل معها مكونا كبريتيد الفضة الداكن اللون ، وبذلك يمكن التعرف على توزيع الكبريتيدات فى الصلب (شكل ١١٩) .

كما يجب الاحتراس فى تحضير جميع محاليل النش التى تحوى حامض نريك من استعمال حامض النريك المخزن (كثافة أكثر من 1.4) .



كل صور الصلب غير المسبوك وقليل السبك 5 : 1  
والحديد الخام والحديد الزهر والحديد المطاوع فى شكل (١١٩) طبعة باومان من مقطع حامل  
صلب به فواصل دحيلة .  
هذا الكتاب ليعينات تمشت حسب هذه الطريقة .

محلول نمش مجهرى لصلب غير مسبوك وصلب قليل السبك وحديد زهر

حامض نريك كحول	
كحول	98 ml
حامض نريك مركز	2 ml

#### محلول نغش مجهري لصلب التيتال كروم المالح السيك V2A

حمام جوردنز الحمضي	
ماء مقطر	100 ml.
حامض هيدروكلوريك مركز	100 ml
حامض نيتريك مركز	10 ml
مانع كيميائي	0.3 ml

درجة حرارة النغش  $50^{\circ}\text{C}$ — $60^{\circ}\text{C}$  إذا تكونت حفر نمشية كبيرة ينمش عند درجة حرارة الجو العادية لمدة أطول ، مثال على ذلك (شكل ٧٦) .

#### محلول نغش مجهري للنحاس وسبائك .

ماء مقطر	120 ml
كلوريد النحاس النشادرى	10 g

يضاف لهذا المحلول قبل عملية النغش نوشادر ، وعندئذ يتكون راسب أولاً وينشط النوشادر بالتدرج حتى يذوب هذا الراسب ويكون لون المحلول أزرق غامقاً ولكنه صاف والأمثلة شكل (٣٤ ، ٦٠ ، ٦١) .

#### محلول نغش مجهري للألومنيوم وسبائك

صودا كاوية	
90 ml ماء مقطر	
10 g صودا كاوية (هيدروكسيد الصوديوم)	

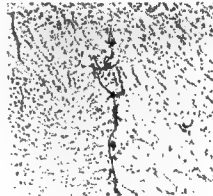
أو

حامض هيدروفلوريك	
99.5 ml ماء مقطر	
0.5 ml حامض هيدروكلوريك	

كلاهما محلول نغش عام لا ينفع للرنة على وجود أجزاء معينة من التركيب الداخلى ومثال لذلك (شكل ١٢٠) .

#### ٤ - التلميع والنغش الإلكتروني

الأسس النظرية : ذكر ب . أ . جاكوبت أن البنية الفلزية إذا وضعت كصعد في حلية السكرونية تتفاعل مع المحلول الإلكتروني وينشأ عن ذلك محلول من أملاح مركبة ترسب كطبقة رقيقة على المساحة المراد تلميعها والسطح الذى ترسب من هذه الطبقة الرقيقة يكون مستوي تقريباً ولا يبين عدم انتظام سطح البنية . والمقاومة الكهربائية لهذه الطبقة الرقيقة أقل حيث يوجد عدم انتظام في سطح البنية يقلل من سلك هذه الطبقة الرقيقة ، وهذه المواضع تنقل لذلك بسرعة أكبر من تلك التى هي أعمق منها مما ينتج عنه أن يسعى السطح كله بالتدرج .



1 : 100

شكل (١٧٠) فترة من الأوكسيد في درز حمام الألومنيوم (محلول نغش 0.5% محلول حامض هيدروفلوريك) .

منحنى كثافة التيار مع الجهد الكهربي : توضع العينة في المحلول الإلكتروليتي ويرفع الجهد الكهربي من صفر ببطء وتدور عند كل خطوة بيانات الجهد الكهربي والتيار وإذا رسم منحنى بياني للعلاقة بين كثافة التيار والجهد الكهربي ينتج لكثير من المحاليل الإلكتروليتية منحنى كالمبين (بالشكل ١٢١). ويرتفع المنحنى أولاً بانتظام فترداد كثافة التيار بالتناسب مع الجهد وفي هذه الأثناء تنمش العينة ويلدوب جزء من القاذر أثناء ذلك، وعندما يصل الجهد إلى 1.8 فولت يصل المنحنى إلى نهاية عظمى ، وهنا يبدأ تكون الطبقة الرقيقة الزرقة ، ونتيجة للمقاومة الأكبر الناتجة عن ذلك تقل كثافة التيار بعض الشيء .

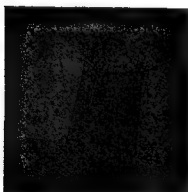
وتصبح الطبقة الرقيقة ثابتة ، وبينما يزداد الجهد الكهربي تثبت كثافة التيار لفترة وفي هذه الأثناء تلمع العينة ويبدأ المنحنى في الارتفاع ثانية عند 2.6 فولت ، وهنا يبدأ تولد فقاعات مما يسبب تعطل أو توقف تكوين طبقة التلميع الرقيقة وتلف السطح .

والمحاليل الإلكتروليتية التي تحوى حامض بيركلوريك غالباً ما تعطى منحنى أبسط يبدأ بأهوجاج بسيط ثم يرتفع بانتظام كخط مستقيم (شكل ١٢٣) .

وعند الجهد المنخفض لا يمر عملياً أى تيار وتتكون طبقة التلميع الرقيقة ، وفي هذه الأثناء تنمش العينة ، وعند الضغط الأعلى يبدأ التيار في المرور وتلمع العينة .

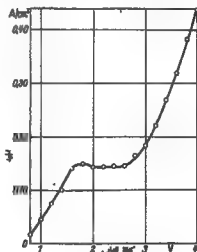
وامكانية التلميع على مجال واسع دون عيوب هي السبب في استعمال المحاليل الإلكتروليتية المحتوية على حامض البركلوريك على نطاق واسع رغم أنها عن غطيرة أى خطأ في العمل .

ويمكن استعمال محلول الكتروليتي من حامض البركلوريك للصلب والحديد الزهر مكون من جرمين من حامض البركلوريك (1.2) وسبعة أجزاء من كحول ايثيل (96%) وجزء من بيروكسيد الهيدروجين .



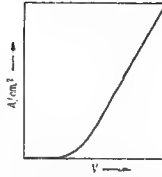
1 : 100

شكل (١٢٢) عينة نحاس رمت حسب المنحنى في الشكل (١٢١) التلميع في الجزء الأيمن من المنحنى وانفرد في أول الجزء المرتفع .



شكل (١٢١) تحقيق أنسب شروط التلميع الإلكتروليتية لعينة نحاس باستعمال منحنى الجهد الكهربي وكثافة التيار : الإلكتروليت حامض أرتوفوسفوريك (1.35)

التجهيزات والتنفيد العمل : يمكن تلخيص كثيراً من العينات في خلية الكتروليتية بسيطة مثل الموجودة في (شكل ١٢٤) في قاع الوعاء الموجود فيه المحلول الإلكتروليتي يوجد المهبط الذي يجب أن تكون مساحته عشرة أمثال المساحة الواجب تلميمها على الأقل وتوجد العينة غاطسة في المحلول الإلكتروليتي كصعد فوق المهبط بالناحية المخلطة منها في مواجهة المهبط .



شكل (١٢٣) منحنى الجهد الكهربائي وكثافة التيار لمحلول الكتروليتي ذي مجال كبير للتلميع (حسب ج . ل . فايسمان) .

وفي (الشكل ١٢٥) تظهر عينة من صفائح سبيكة القصبة الألمانية (من النحاس والنيكل والزنك) أخذت

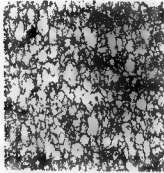
دون معالجة سابقة بحالة تسلمها من المورد ولملت ونمشت في خلية الكتروليتية بسيطة واستعملت قطعة كبيرة من نفس الصفائح كهبط ولملت العينة في محلول الكتروليتي مكون من جزئين من الكحول الميثيلي ، جزء من حامض النريك (35 - 40 فولت ، 5 - 10 ثوان) ولم يمكن النش بهذا المحلول الإلكتروليتي ، ولتنش استعمل محلول الكتروليتي آخر في نفس هذه الخلية وهو : ١٠ أجزاء حامض نريك مركز ، ٥ أجزاء من حمض الخليك الثلجي ، ٨٥ جزء ماء مقطر (1.5 فولت - 20 - 60 ثانية) .

وكلما اختلفت العينات المستعملة كلما وجب أن تكون التجهيزات متعددة الجوانب ويمكن هذا باستعمال آلة تقليب ، عدادات لقراءة الجهد الكهربائي وشدة التيار وجهاز لتبريد المحلول الإلكتروليتي في الخلية الذي ترتفع درجة حرارته كثيراً بالاستعمال ولا يجب التبريد فقط للاحتفاظ بدرجة حرارة المحاليل الإلكتروليتية القابلة للاشتعال تحت نفطة الروميس ، بل لأن ارتفاع درجة الحرارة يمكن أن يغير من خصائص التلميع للإلكتروليت المستعمل .

ويجب الاحتراس عند استعمال محلول الكتروليتي به حامض بيركلوريك لأنه مطهر ، ومن لا حجة له في استعمال حامض البركلوريك عليه أن يترك تصفير مثل هذه المحاليل الإلكتروليتية كيميائياً متخصص أو يشتريها من مورديها ، ويجب خلط المحاليل

التي تحوى حامض بيركلوريك مع حامض الخليك اللامائي - الذي لا يجب إضافته بسرعة تزيد من نقطة واحدة كل عشر ثوان - ويجب تبريد الحمام أثناء ذلك حتى لا ترتفع درجة الحرارة عن  $24^{\circ}\text{C}$  ويزداد خطر الانفجار بزيادة كمية حامض البركلوريك التي يحويها المحلول الإلكتروني، ولا يجب بمال من الأحوال أن يسوي محلول الكتروني على أكثر من 40% من حامض البركلوريك ذي الكثافة 1.62 .

والمحاليل الإلكترونية التي تباع جاهزة وتحوى حامض البركلوريك تكون لسته لها عملية بحيث أنها لا تشكل خطورة عند الاتصال المقبول .



1 : 100

شكل ( ١٢٥ ) حبة صلبات شبكة لسته المائية بحالة تسلمها من المورد لمت وتمخت في حليه مبسطة .



شكل ( ١٢٤ ) ترتيب مبسط لخلية لفتح الإلكتروني .

## المحتويات

بريليوم (٢١)	(أ)
البريتيك (٥٤)	إبقاء مدة أطول من اللازم (٦٠)
برليت (٥٤ وما بعدها)	أريديم (٢١)
برليت وفائق (٥٤ ، ٥٥ ، ٥٦ ، ٥٨)	الإزاحة أو انتقال الموضع (٢٩)
برليت محبب (٥٨)	أشباه الموصلات (٢٠)
بروتونات (١٠)	الاجماع الإلكتروني (٣٠)
بلازين (٢١)	أشعة ختية بالطاقة (٢٩ ، ٣٠)
بلورات عذائية (١٩)	إعادة البلور (٣٠ - ٣٢ ، ٥٧)
بلورة أولية (٢٦) وما بعدها	إعادة تبلور ثانوي (٣٢)
بلورة حقيقية (٢٦)	إعاقة التشكيل بالإزلاق (٢٦)
بلورة صغيرة (١١)	أقراص لياد (٧٧)
بلورة مثالية (٢٦)	الكتروليت (محلول كهربائي) (٨٢ ، ٨٤)
بلورة متصلة (٢٥ ، ٢٦)	الكتروليتات (١٠)
بلين الفجر (٢٨)	الكتروليتات مشعة (١٦)
برلقة (١٩)	ألومنيوم (٢١ ، ٢٥ ، ٢٩ ، ٣٨ ، ٨٢)
(ت)	ألومنيوم - جرمانيوم (٤٠)
تبريد أكثر من اللازم (١٤ ، ١٨ ، ٣٨ ، ٤٠)	ألومنيوم سيليكون (٤٠)
تبريد متأخر	ألومنيوم - نحاس (٤٩ ، ٥٠)
تبريد مستمر (٦٤)	الانتشار (٤٣ ، ٤٦ ، ٤٨)
تثبيت (٨٠)	إزلاق (٢٥ ، ٢٧)
التثبيت بمسكات (٧٤ ، ٧٥)	أوستنيت (٥٢)
تجمد موجه (١٩)	أوستنيت يرد أكثر من اللازم (٦١)
تحلل أويكتويدي	أكسيد الألومنيوم (٧٧)
تحليل حراري (٢٦)	أكسيد اليورانيوم (٢٢)
تحول عند درجة حرارة ثابتة (٦٠ - ٦٢)	الأويكتيك (٤٠)
التحول في الحالة الصلبة (٢٣ - ٢٥ ، ٢٥ وما بعدها)	أويكتريد (٥١)
تخمير إذابة (٤٩)	أويكتيك (٤٧ ، ٤٩ ، ٦٥ ، ٦٦ ، ٦٧)
التخمير التام (٥٨)	(ب)
تخمير وفق الاجهادات (٥٧ ، ٦٠)	بايغيت ٤٥ - ٤٩
تخمير متبادل حول درجة حرارة تغير الحالة (٥٩)	البايغيت (٦١ - ٦٤)
	بده إعادة التبلور (٣٢)



التغير المزدوج (٧٥)  
 التغير المزدوج أو التشكيل المزدوج (٧٥)  
 التغير المزدوج (٢٥)  
 تفاعلات برنكيكية (٤١-٤٣-٧٢)  
 تقسية بالتربس (٤٩، ٥٠)  
 تقسية الصلب (٥٦، ٥٧)  
 التقسية على البارد (٥٠)  
 تكون بروتات أثناء التلبد بالصلب (٧٥)  
 تكون التروم (٧٧)  
 تكون طبقات (٣٣، ٣٤)  
 تكون طرف (٢٩)  
 تكوين برنكي غالب (٦٧، ٧٠)  
 تكوين برنكي فرقي غالب (٦٧)  
 التكوين التروم الميكانيكي (٧٧)  
 تكون مزدوج التلبد الأولية (٣٧، ٣٨، ٣٩)  
 التلبد والتغير الإلكتروني (٨٧-٨٥)  
 تمسك (١٧)  
 التمدد بالتسطين (١٧)  
 التمدد بالحرارة (١٧)  
 التلبد (٢١)  
 التلبد (٢١)  
 تروم التشكيل (٢٥)  
 تروم التلبد عن المعالجة الحرارية (٢٧)  
 توسيد (٧٤، ٧٥)  
 تيلانيوم (٢١)  
 (ث)  
 فوايت الميكانيكي البارد (٢٣، ٢٤، ٤٤)  
 (ج)  
 جراثيم (١٥، ٦٧-٧٠)  
 جراثيم اسفنجي (٦٨)  
 جراثيم أول (٦٨)  
 جراثيم أوتيتيكي (٦٨)  
 جراثيم ثانوي (٦٨)  
 جراثيم وثلاثي (٥٣-٥٨)  
 جراثيم متفصل نتيجة تدمير كزهر (٦٧-٧٠)  
 جراثيم (٣٠، ٤٠)

تجميع مزيل الكربون (٧٠)  
 التلبد في التلبد (١٩)  
 تليبد الحرارة (١٧)  
 ترسيبات أو انفصالات (٢١، ٤٩)  
 تكوين محاليل صلبة بصلابة معدودة (٤٩-٤٩)  
 ترسيبات ثانوية (٤٨، ٤٩)  
 تركيب بالوردي مكسب ذو ذرات في منتصفات الأوجه (٧١، ٧٣، ٧٤)  
 تركيب داخل (١٢، ١٤، ١٧)  
 تركيب داخل ذو صيغيات دقيقة (١٩، ٢٠، ٢١، ٢٢، ٢٣، ٢٤)  
 تركيب داخل عدائي (١٩)  
 التركيب الداخلي في حالة الصلب (٢٨)  
 تركيب داخل كبير الحبيبات (١٩، ٢٢)  
 (٤٣، ٤٦، ٥٧، ٥٩)  
 (ت)  
 التركيب الداخلي الباهيت في الصلب (٦١-٦٥)  
 تركيب داخل موجه (١٩)  
 تركيز أوتيتيكي (٤٤)  
 تركيز أوتيتيكي (٤٤)  
 تسطين أو تطبيع (٥٦، ٦٤)  
 تسطين زائد عن اللازم (٦٠)  
 التلبد المبدل عند التلبد (٦٤)  
 تسطين (٤٩، ٥٠، ٥٦)  
 تشكيل (٢٥، ٥٥)  
 التصلد (٢٥، ٢٦، ٣٠، ٣٧)  
 التصلد بالانصاع الإلكتروني (٣٠)  
 التصلد بالحرارة (٥٠)  
 تصد السبائك بالتلف على البارد (٢٥)  
 التصلد بالتلف على البارد (٢٦، ٢٧)  
 التطبيع (٥٦، ٦٤)  
 تطبيع لتلبد الباهيت (٦٤)  
 تطبيع عند درجة حرارة ثابتة (٦٤)  
 تعطيل التلبد (٣٨)  
 تليبد أو تشكيل يدائم (٢٥)  
 تليبد الخواص بالزمن (التقسيم) (٤٩)

(ح)

- حالة اختلاط (٢٤)  
حالة غير ثابتة أو نظام غير ثابت (٧١)  
حامض الأرتوفوسفوريك (٨٣)  
حامض البركلوريك (٨٤ ، ٨٣)  
حامض كلورودريك (٨٢)  
حامض نيتريك (٨٢)  
حامض نيتريك كمحلول (٨١ ، ٧٩)  
حامض نيتريك مذخن (٨١)  
حامض الهيدروفلوريك (٨٠)  
خيم الجيبيات (٢٠ ، ١٩)  
حديد (٥١ ، ٢٨ ، ١٩ ، ١٢)  
حديد جاما (٥٢ ، ٢٤ ، ٢٣)  
حديد - جرافيت (٧٠ - ٦٧)  
حديد زهر (٧٠ - ٦٧ ، ١٥)  
حديد زهر أبيض (٧٠)  
حديد زهر به جرافيت كروي (٦٩)  
حديد زهر ذو كريات من الجرافيت (٧٠ - ٦٩)  
حديد زهر رمادي (٦٩ - ٦٧)  
حديد زهر رمادي (مطروح) (٦٩)  
حديد زهر فيه الجرافيت على شكل كرات منتظمة (٧٠ - ٦٩)  
حديد زهر مطروح أبيض (٧٢ - ٧٠)  
حديد من الفصيلة ألفا (٢٤ - ٢٣)  
حديد من الفصيلة بيتا (٢٣)  
حديد من الفصيلة دلتا (٢٣)  
حديد كريد الحديد (٦٧ - ٦٥ ، ٤٠)  
حديد مطروح (٧٢ - ٧٠ ، ٦٧)  
حرارة التجمد (١١)  
الحرارة اللازمة للانصهار (٢٢ ، ١٨)  
حمامات الطلاء بالنحاس (٧٦)  
حمامات جرونز للنش (٨٢)  
حوادث المفاعلات (٢٢)  
حيز فراغ الاختلاط (٤٧)  
(خ)  
خط الإزاحة (٢٦)

خط الأوبتكسك (٦٨)

- خط البرتكسيك (٤١ - ٤٣ ، ٧٢)  
خط التجمد (٣٦ وما بعدها - ٤٥)  
خط الحامل (٢٤)  
خط الحيولة (٣٦ - ٣٩ ، ٤٥ ، ٤٦ ، ٤٨ ، ٦٩)  
الخط الممثل التركيز (٣٦ - ٣٧)  
خطوات الإنزلاق (٢٦)  
خطوط الإنزلاق (٢٦)  
خلية الكتروليتية (٨٢)  
خلية أولية (٢١ - ٢٢)  
الخواص الميكانيكية (٢٨)  
(د)  
درجة حرارة إعادة التبلور (٣٢)  
درجة حرارة الانصهار (١٨)  
درجة حرارة التجمد (١٣ ، ٢٣)  
درجة حرارة التسخين أو التلطيع (٥٨ ، ٥٧)  
درجة حرارة التشكيل أو لسبة التشكيل (٣٢)  
درجة حرارة الصهر المطلق (١٨)  
دور القمام (٧٩)  
(ذ)  
ذرات (١٠ ، ٩)  
الذرات الفرية (٤٣)  
ذرات متداخلة في الهيكل البلوري (٣٠)  
ذهب (٢٧ ، ٢١)  
(ر)  
الرؤية بالعين المجردة أو تكبير صغير (٧٤)  
الرباط الذري (٢٦)  
رصاص (٢٢ ، ٢٤)  
رقائق ثنائية (٢٧)  
رقائق الجرافيت (٦٠ - ٦٨)  
(ز)  
زجاج عادي (مسطح) (١٥)  
زمن الاستجابة (٢٤)

زفك (٢٦ ، ٢١ ، ١٩)

زفك - كاديوم (٢٧)

زفك - ماضيوم (٤٠)

(س)

السائل المنصهر أنبأ ٣ ، ٩ ، ٢٢ - ٢٤ ، ٢٤

(٤٥ ، ٤١ ، ٢٧ ، ١١)

سبالك (٣٣ وما بعدها)

سبالك تحت الأوبتكسك (٣٨)

سبالك تحت الأوبتكسك (٥٤ ، ٥١)

سبالك تلقى بالترسب (٥١ ، ٥٠ ، ٤٩)

سبالك الحديد مع الكربون (٥١ وما بعدها)

سبالك فوق الأوبتكسك (٥١ ، ٥٤ ، ٥٨ - ٦٠)

سبالك فوق الأوبتكسك (٣٨)

سبالك مكون بها محاليل صلبة (٤٣ وما بعدها)

سيبكة أولية (٢٣)

سيبكة بمحلول صلب بكل النسب (٤٤)

سيبكة نحاس ورمصاص (٢٤)

شعاب الكثرونية (١٠)

السمتيت (٥٥ - ٦٥ - ٦٨)

سمتيت أول (٥٥)

سمتيت ثانوي (٥٥ - ٥٦)

سمتيت عمداً (٦٥)

سمتيت محبب (٥٨ وما بعدها)

سمتيت من الدرجة الثالثة (٥٥ وما بعدها)

سيليكا جل (٧٩)

سيليكون (٣٠ وما بعدها)

(ش)

شبكة سمتيت (٥٥ - ٦٠)

شقوق (٢٠)

شقوق بين الطبقات (٢٠)

الشقوق عبر البلورات (٢٠)

شكل إتران الحديد مع الكربون (٥٢ وما بعدها)

شكل إتران السبيكة (٣٩ وما بعدها)

الشكل الحقيقي (٣٨)

شوائب (١٥ ، ١٩ ، ٣٧)

الشبهة (١٥ ، ١٤)

(ص)

صب مع البيريد الفاجي (٦٥)

صبة مثقبة أو اسفنجية (٣٣)

الصودة ٢٤ ، ٣٦ ، ٤٠ - ٤٢

صلب (٥١ وما بعدها)

صلب أيونتكسك (٥٥)

صلب أوستنيتي (٥٥)

صلب ذو حبيبات دقيقة (٢٠)

صلب البعة (٥٢)

صلب غير مسبوك (٥٢ ، ٦٣)

صلب مسبوك أو سبالك (٥٢ وما بعدها)

صلب مصبوب (٦٠)

صورة بالميكروسكوب الإلكتروني (١٩)

صور متعددة (٥١ ، ٧٢)

(ص)

صبغة رقيقة (١٧)

صبغ التركيب (٤٣)

صبغة من البلاستيك (١٧)

(ط)

طاقة الحركة للذرات (١٠)

طبقة باومان للكبريت (٨١)

طبقات مختلفة من بخار (١٧)

طبقة التثقيب (٧٧)

طبقة تلصق رقيقة (٨٢ ، ٨٣)

(ح)

حبيبة اللامس (٧٨)

حبيبة سيليكون (٧٥)

حساسات (١٤ ، ١٥)

حساسات الكثرونية (١٩)

عدم انتظام في الهيكل البلوري (٣٠)

عدم التوازن في الحالة الصلبة والسائلة (٣٣ ، ٣٤)

عناصر (١٠)

عناصر السبيكة (٣٣ ، ٣٧)

قوة ٩ ، ١٠ ، ١٤ ، ١٥ ، ٣٦ ، ٤٠ ،

٤١ ، ٤٢ ، ٤٤

قوة للشد (٢٨)

(ك)

كالميوم (٢١)

كالميوم (٢١ ، ٢٧ ، ٣٧)

كبريتيدات (٨١)

كبريتيد الهيدروجين (٨١)

كربون (٣٨ ، ٥٢ ، ٦٦)

كريد الحديد (٤٠ ، ٥٣ ، ٦٦)

كريد اليورانيوم (٢٢)

الكروم (١٦ ، ٢١ ، ٥٦)

كلوريد النحاس النواصري (٧٩ ، ٨٢)

(ل)

لطف أو شعم (٥٨)

لوحة ليريد (١٩)

ليهدبوريت (٦٦)

(م)

مادة الترابط (٣٧)

مادة تشقق

مادة حدود الحبيبات (٢٠)

مادة لدنة صناعية (٧٤)

مارتنسيت (٧٧ وما بعدها)

ماسة احجار الصلادة (٥٥)

ماغنسيوم (٢١ ، ٢٧ ، ٤٠)

ماكينة تقطير طرب (باستخدام الزيت أو الماء) (٧٧)

ماكينة فصل أو قطع (٧٤)

المخالة (٥٦)

مجال التجمد (٣٥)

مجال مغناطيسي (١٦)

مجفف (٧٨)

مجهر (ميكروسكوب) الكتروني (١٨٤١٧)

مجهر صوتي (١٤ ، ١٥٤)

مجهرية الفلزات (١٤ - ١٨)

العينة (١٤)

مينة آل (٧٠)

مينة جهرية (١٤ ، ١٥)

مينة ملحة للنقص الميكروسكوبي (١٦ ، ١٧)

مرب فرنكل (٣٠)

مرب الميكل البلوري ١٥

(خ)

غاز حامل (٢٩)

خلاص برتكتيكي (٤٢ ، ٤٣)

(ف)

الفصل البرلي (٦٢)

لمينة مخروطية (في سطح المصبوبة) (١٢)

لواخ (٢٠)

لريت قبل الأوتكتويدي (٥٨)

لريت (٥٤ وما بعدها)

لفسة (٢١ ، ٢٧)

لفسة - نحاس (٤٠)

فلزات ثقيلة (١٠ - ٣٢)

فلز أو سبيكة منصهرة (١٠ ، ١٤ ، ١٧ ، ٢٣)

الفلز الأساسي (٣٣)

فلز كراسي المحاور (٣٤)

(ق)

القابلية لتشكيل بالصب (٩٧ - ٩٩)

قابلية التصلب لتشكيل والتشغيل (٥٨)

القابلية للصلابة (٦٩)

القدرة على أخذ شكل ما (٦٦)

القدرة على الإذابة (٤٣ ، ٥٠)

القدرة على الانعكاس (١٩)

القدرة على التشكيل (٢٥)

لقد النيوترونات (٣٠)

قرص قطيعة (٧٧)

قاس التلميح (٧٧)

قوى تماسك الذرات (٢٦)

- محاليل صلبة (٤٣ وما بعدها)  
 محلول صلب (٥١)  
 محلول صلب ألفا (٤٧ وما بعدها)  
 محال كهرلي (١٦)  
 محلول صلب بالاحلال (٤٣ - ٤٩)  
 محلول صلب ثانوي (٤٦ - ٤٩)  
 محلول صلب بالتداخل (٤٣ - ٥١)  
 محلول صلب جاما (٥٢ - ٧٢)  
 محلول صلب غير متجانس (٥٢)  
 محلول صلب في طبقات (٤٦)  
 محلول صلب في الفصيلة دلتا (٧٢)  
 محلول صلب متجانس (٥١)  
 محلول نملش (٧٩)  
 محلول نملش آذر (٧٩)  
 محلول نملش أسطح الحبيبات (١٤)  
 محلول نملش للروية بالعين المجردة أو تكبير صغير (٧٩ ، ٨٠)  
 محلول هيدروكسيد الصوديوم (٨٢)  
 محاليل (٣٤)  
 المراجعة (٥٩ ، ٦٠)  
 مركبات بيئية (٣٨ وما بعدها)  
 مساحات النملش (٧٨)  
 مستويات إنزلاق (٢٥ ، ٢٦)  
 مستويات الهيكل البلوري (٢٥ ، ٢٦)  
 مستقيم نقاط التوقف (١٣ ، ١٨)  
 مصلد مادة التوسيد (٧٤)  
 مفتاحيس دائم (١٩)  
 معاملات (٢٢ ، ٢٩)  
 مفاعل عند درجات الحرارة العالية (٢٢)  
 مقاومة التشكيل (٢٥)  
 مناطق خفضت نسبة الكربون لها (٧٩)  
 متجيز (٢٥ ، ٦٧)  
 منحنيات تغير التكوين مع درجة الحرارة والزمن عند درجة حرارة ثابتة (٦١ ، ٦٤)  
 منحنيات تغير التكوين مع درجة الحرارة والزمن عند التبريد المستمر (٦٤)
- منحنيات التغير مع درجة الحرارة والزمن (٦١-٦٤)  
 منحنيات الزمن مع درجة الحرارة (١٤)  
 منحنى تبريد (١٤ وما بعدها)  
 منحنى التجمد (٣٥)  
 منحنى التسخين (١٨ وما بعدها)  
 منحنى شدة التيار مع الجهد الكهربي (٨٤)  
 منفصلات (٧٩)  
 مواضع التوسيد (٧٥)  
 مواد غير متبلورة (٢١)  
 مواضع ممية (٢٠ ، ٢٦ ، ٢٢)  
 المواضع الخالية في الهيكل البلوري (٣٠)  
 مواضع في الهيكل البلوري (٣٠)  
 موليدليوم (٢١)  
 ميكروسكوب اليكتروني إحصائي (١٧)
- (ن)  
 نريت اليوانيوم (٢٢)  
 نحاس (٢١ وما بعدها)  
 نحاس أصفر (٢٩)  
 نحاس - أوكسيد النحاسوز (٤٠)  
 نحاس - رصاص (٣٤)  
 نحاس - زنك (٢٩)  
 نحاس - نيكال (٤٤)  
 نظام ثابت (٧١)  
 نظم أو فصائل بلورية (٢١-٢٢)  
 نقاط توقف (١٤ وما بعدها)  
 نقطة الانحناء (٣٥ وما بعدها)  
 نقطة الانصهار (١٨ ، ٢٣)  
 نقطة الأوبسكتك (٣٧)  
 نقطة التجمد (٣٥)  
 نقطة السيولة أو الانصهار (٣٥ ، ٣٦ ، ٣٧)  
 نسج إعادة التبلور (٢٨)  
 نسج أولية أو تكوين (٢٨)  
 نسج أولية أولية (٧٩)  
 نسج التشكيل (٢٨)  
 نسج فيدمان (٥٩)

هيكل بللورى مكعب ذو ذرة في المركز  
( ٢٢ وما بعدها )  
هيكل سداسى ( ٢١ وما بعدها )  
هيكل فراغى ( ٢١ وما بعدها )  
هيكل المكعب ذو الذرة في المركز ( ٢١ وما بعدها )

( و )

ورق بروميد الفضى ( للتصوير ) ( ٨١ )  
ورق ستفرة ( ٧٧ ، ٧٨ )  
ألوزن النوى ( ٣٤ )

( ى )

بتيانيس ( ٤٦ )  
يحقن ( ١٤ ، ٦٩ )  
يلمع ( ٧٦ - ٧٨ )  
يورانيوم ( ١٠ ، ٢٢ )  
يورانيوم - ألومنيوم ( ٤٣ )

نسيج مغلى أو محيط ( ٤٣ ، ٤٢ )  
النش ( ٧٦ وما بعدها )  
نحو الحبيبات ( ٣٠ وما بعدها )  
نواة ( ١٠ وما بعدها )

( ٥ )

نواة الذرة أو قلب الذرة ١٤  
نواة غريبة ( ٢٠ )  
النبيكل ( ٢١ ، ٢٧ )  
ليوترونات ( ١٠ ، ٢٩ ، ٣٠ )  
ليوترونات سريعة ( ٢٩ )

( ٥ )

الميدروجين ( ١٠ )  
هيدروكسيد الصوديوم ( ٨٢ )  
هيكل بللورى مكعب ذو ذرات في الأوجه  
( ٢٢ وما بعدها )



رقم الإيداع ١٧٢٩/٧٩  
الترقيم الدولي ٠٥١-٧٢-٩٢٩٩٩٩٩٩

307057



59039

1.95

IN 3-540-09283-8

AFRAM 195

1



\*97736832977\*

